



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

TOOTMISLOGISTIKA AUTOMATISEERIMINE KEEMIA- JA TOIDUAINETÖÖSTUSES

PRODUCTION LOGISTICS AUTOMATION IN THE CHEMISTRY AND FOOD INDUSTRY

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane:	Tõnis Raamets /nimi/
Üliõpilaskood :	050294MATM
Juhendaja:	Kristo Karjust, professor /nimi, amet/

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 202... .

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." 202.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina _____ (autori nimi) (sünnikuupäev:)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

_____ ,

(lõputöö pealkiri)

mille

juhendaja

on

(juhendaja nimi)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

_____ (allkiri)

_____ (kuupäev)

TalTech Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane:Tõnis Raamets, 050294MATM.....(nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peeriala:.....MATM02, Tootmistehnika.....(kood ja nimetus)
Juhendaja(d):Kristo Karjust, professor.....(amet, nimi, telefon)
Konsultandid: Kristo Timberg, tegevjuht; Merje Kips, arendusjuht (nimi, amet)
Chemi-Pharm AS, 53423246, kristo@chemi-pharm.com ;
Kulinaaria OÜ, 6024835 merje.kips@kulinaariatoit.ee..... (ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Tootmislogistika automatiseerimine keemia- ja toiduainetööstuses

(inglise keeles) Production Logistics Automation in the Chemistry and Food Industry

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Tootmislogistika teoreetilised põhimõtted ja analüüsi tehnikad
2. Tootmislogistika automatiseerimise teostamise jaoks vajalike tarvikute valik
3. Tootmislogistika automatiseerimise virtuaalne analüüs

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Tootmislogistiliste probleemide analüüs keemia ja toiduainetööstuse tootmisettevõtetes. Probleemide ja vajaduste väljaselgitamine.	31.10.19
2.	Tootmislogistika automatiseerimiseks vajalike riistvaraliste ja tarkvaraliste lahenduste väljaselgitamine ja rakendamine tootmisettevõtetes.	29.11.19
3.	Tootmislogistika virtuaalne simulatsioon. Tootmislogistika analüüs ja optimeerimise võimalused. Automatiseeritud tootmislogistika ohutuse analüüs.	27.12.19

Töö keel: **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "....".....202...a

Üliõpilane: "....".....202...a
/allkiri/

Juhendaja: "....".....202...a
/allkiri/

Konsultant: "....".....202...a
/allkiri/

Programmijuht: "....".....202...a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA.....	6
Lühendite ja tähiste loetelu	7
SISSEJUHATUS	8
1. TOOTMISLOGISTIKA SÜSTEEMIDE ÜLEVAADE JA ANALÜÜS	10
1.1 Tootmislogistika põhimõtted ja tehnikad	10
1.2 Süstemaatilise käitlemise analüüsi SHA põhimõtted ja tehnikad	22
1.3 Automaatjuhtimisega sõidukid ja nende valiku kriteeriumid	31
1.4 Automaatse identifitseerimise ja äratundmise tehnoloogia.....	35
1.5 AS CHEMI-PHARM ettevõtte ülevaade	38
1.6 OÜ KULINAARIA ettevõtte ülevaade.....	42
1.7 Tootmisandmete analüüsi valikud ja tehnikad	45
2. TOOTMISLOGISTIKA AUTOMATISEERIMINE.....	52
2.1 Automatiseeritud logistikalahenduse tehnilised nõuded	52
2.2 Automatiseeritud logistikalahenduse riistvaralised nõuded	63
2.3 Automatiseeritud logistikalahenduse tarkvaralised nõuded	72
2.4 AGV liikumisteede virtuaalne simulatsioon ja andmete analüüs	77
2.5 Ohutus- ja riskianalüüs.....	86
KOKKUVÕTE.....	90
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU.....	94
LISAD	96
Lisa 1. AS CHEMI-PHARM tootmisstatistika 18.11-24.11.2019	96
Lisa 2. KULINAARIA OÜ tootmisstatistika 02.12-08.12.2019	97
Lisa 3. SHA kodeerimine tabelites.....	98
Lisa 4. SHA paigutusega seotud vooskeemi näidis.....	99
Lisa 5. SHA paigutusega seotud vooskeem koos valitud käsitlemise meetoditega	100
Lisa 6. Valik AGV alusplatvorme ja kahveltõstukeid	101
Lisa 7. CHEMI-PHARM OPIL loogikadiagramm liinisisend.....	101
Lisa 8. CHEMI-PHARM OPIL loogikadiagramm liiniväljund	103
Lisa 9. CHEMI-PHARM MiR1000 simulatsiooni tulemused.....	104
Lisa 10. KULINAARIA Robotnik RB-2 simulatsiooni tulemused.....	105
Lisa 11. KULINAARIA tootmistellimused ajavahemikul 03.12- 04.12.2019.....	106
Lisa 12. CHEMI-PHARM tootmistellimused 18.11-24.11.2019	107
Lisa 13. Tootmisprotsesside kulgemise viisid	108
Lisa 14. CHEMI-PHARM ettevõtte struktuur	109
Lisa 15. Kulinaaria OÜ ettevõtte struktuur	110
Lisa 16. OPIL struktuur	111

EESSÕNA

Käesoleva töö teemaks on „Tootmislogistika automatiseerimine keemia- ja toiduainetööstuses“. Lõputöö eesmärk on tootmislogistika automatiseerimise lahenduse arendus AS CHEMI-PHARM ja KULINAARIA OÜ ettevõtte tootmisüksustes. Töö käigus analüüsiti tootmisüksuste tootmisprotsesse ja koostati automatiseeritud logistikalahenduse tehnilised nõuded mille põhjal tehti valikud riistvara ja tarkvara nõuete valikuks ja viidi läbi virtuaalsed simulatsioonid AGV süsteemide utiliseerimise efektiivsuse analüüsiks.

Lõputöö teema on valitud ettevõtete soovist tõsta tootmisefektiivsus läbi automatiseeritud tootmislogistika kasutades AGV süsteeme logistikaülesannete täitmiseks.

AS CHEMI-PHARM poolt aitas algandmeid koguda, tehniliste nõuete koostamisega ja ettevõtte virtuaaltehase projektiga tegevjuht Kristo Timberg.

KULINAARIA OÜ poolt aitasid tehnilise ülesande koostamise ja tootmisandmete kogumisega arendusjuht Merje Kips, tootmisjuht Marian Kallas ja teenuste osakonna juhata Signe Õis. Eraldi suured tänud ettevõtte juhatajale Andres Heinverile kes on toetanud antud uurimistöö läbiviimist ettevõttes.

Tootmislogistika automatiseerimine, AGV, Visul Components, DIMUSA, magistritöö.

Lühendite ja tähiste loetelu

- AGV – automaatjuhtimisega sõidukid (ingl k *automated guided vehicle*)
- APS – süsteemide üldine omadus (ingl k *advanced planning system*)
- BOM – tükilehe andmed (ingl k *bills of materials*)
- CPS – küberfüüsiline süsteem (ingl k *cyber-physical system*)
- ERP – ettevõtte ressursside planeerimine (ingl k *Enterprise Resource Planning*)
- FMS – paindootmissüsteem (ingl k *flexible manufacturing system*)
- HMI - inimene-masin liides (ingl k *Human Machine Interface*)
- IoT – asjade internet (ingl k *Internet of Things*)
- JIT – ajastatud tootmine (ingl k *Just in Time*)
- m^2 - pindalaühik
- MES – toomise operatiivse juhtimise süsteem (ingl k *Manufacturing Execution System*)
- MRP – materjalivajaduste planeerimine (ingl k *Materials Requirements Planning*)
- NFC – kontaktivaba lähiväljatehnoloogia (ingl k *Near Field Communication*)
- OEE – seadmete üldine efektiivsus (ingl k *Overall Equipment Effectiveness*)
- PLC – programmeeritav loogikakontroller (ingl k *programmable logic controller*)
- RFID - raadiosagedustuvastus (ingl k *radio frequency identification*)
- ROS – roboti operatsiooni süsteem (ingl k *Robot Operating System*)
- RTLS – reaajas asukoha jälgimissüsteem (ingl k *Real-Time Location System*)
- SFC – töö juhtimine töökohtadel (ingl k *shop floor control*)
- SHA – süstemaatiline käitlemise analüüs (ingl k *Systematic Handling Analysis*)
- TEEP – täielik seadmete efektiivsus (ingl k *Total Effective Equipment Performance*)
- WIP – töös olev toode (pooltoode) (ingl k *Work in Process*)
- WMS – lao juhtimissüsteem (ingl k *Warehouse Management System*)

SISSEJUHATUS

Neljas tööstusrevolutsioon ja selle aluseks olev digitaalne ümberkujundamine, mida tuntakse kui Tööstus 4.0 ja mille areng on viimastel aastatel olnud plahvatuslik muutes nii üksikisikute elu ja töö põhimõtteid kui ka avalikkuse arvamust digitaalse revolutsiooni osas. Tööstus 4.0 keskkonnas on ühendatud arvutid, nutikad materjalid ja intelligentsed masinad üksteisega ja keskkonnaga suhtlemiseks, et langetada otsuseid minimaalse inimeste kaasamisega. Virtualiseerimise põhimõtte kus Tööstus 4.0 keskkonnas kus füüsilise maailma andurite ja nutikate komponentide saadud andmed (nt uued tooted, tootmismasinad või kogu nutitehas) kogu väärtusvõrgus pakub hindamatuid võimalusi ennustamiseks ja tootmistegevuse optimeerimiseks. Tööstus 4.0 lihtsustab paindlikku ja detsentraliseeritud tootmiskeskonda mis kohandub tõhusalt pidevalt muutuvatele kliendinõudmistele. Uurimused on näidanud, et Tööstus 4.0 on positiivselt mõjutanud ettevõtte kasumlikust nagu näiteks materjalivoogude optimeerimine, kvaliteedi- ja tooteinnovatsiooni parendamine, tootmisruumide ja rajatiste optimeerimine, tootmise paindlikus, ressursitõhusus, jäätmete vähendamine, suurem tootmisvõimsus ja madalamad laokulud. (Ghobankhloo, 2019)

Käesoleva uurimistöö fookuses on keemia- ja toiduainetööstuse tootmislogistika, et tõsta tootmise efektiivsust ja tootlikust, tagada ressursside (materjalid, tööjõud, aeg) ja tootmisprotsesside optimeerimine, elimineerida väärtust mitte lisavad protsessid, varude ja praagi vähendamine ning süsteemi paindlikkuse suurendamine kasutades selleks Tööstus 4.0 põhimõtteid.

Magistritöö probleemiks on ettevõtte võimekus efektiivselt hallata järjest väiksema mahuliste ja suure varieeruvusega toodete tootmisprotsesse. Lisaks on langenud üldine tarnekindlus, sest tootmise tsükliajad on pikenenud, puudub kontroll sisemise logistika üle ning tootmisliinid on ebaühtlasemalt koormatud.

Magistritöö eesmärgiks on AS CHEMI-PHARM ja KULINAARIA OÜ automatiseeritud tootmislogistika lahenduse arendus. Eesmärgi püstitamiseks on seotud järgnevad ülesanded:

- Anda ülevaade tootmislogistika teoreetilistest põhimõtetest ja analüüsi tehnikatest;
- Defineerida automatiseeritud tootmislogistika korraldamise nõuded ning riistvara ja tarkvara nõuded;
- Automaatjuhtimisega sõidukite virtuaalne simulatsioon ja andmete analüüs kasutades reaalseid tootmisandmeid.

Magistritöö koosneb kahest osast. Esimeses teoreetilises osas tutvustab autor tootmislogistika teoreetilist osa ja selgitatakse üksikasjalikumalt tootmislogistika põhimõtteid ja nende rakendamise tehnikaid. Oluline väljatoodud osa on ka materjalide käitlemise analüüsi põhimõtete teooriast ja selle rakendamisest tootmisettevõttes.

Tutvustame ka AS CHEMI-PHARM ja KULINAARIA AS ettevõtteid ning anname ülevaate logistika protsessist mis annab parema ettekujutuse mis keskkonnas uuritavad ettevõtted tegutsevad. Teoreetilise osa viimases osas tutvustame tootmisandmete analüüsi valikuid ja kasutatavaid rakendusi.

Teises osas selgitame millised nõuded on nimetatud ettevõtetel automatiseeritud logistikalahenduse teostamiseks ning millised riistvaralised ja tarkvaralised valikud on nende ülesannete teostamiseks vajalikud. Lõpuosas viime läbi virtuaalse 3D analüüsi Visual Components modelleerimise tarkvara kasutades ning analüüsime saadud tulemusi ja anname nõuandeid arenduse jätkamiseks. Teise osa lõpus peatume ka automaatjuhtimisega sõidukite ohutusalastel küsimustel ja anname lühiülevaate neile esitavatest nõuetest.

1. TOOTMISLOGISTIKA SÜSTEEMIDE ÜLEVAADE JA ANALÜÜS

„Logistika eesmärgiks on materjale või kaupa saada või lähetada õiges koguses, õige ajaks, õige sortimendi ja kvaliteediga, õigesse kohta ning õige informatsiooni alusel. (Tallinna Tehnikaülikool aastal, 2011)

Ettevõtte seisukohalt jaguneb see omakorda kolmeks:

1. Hankelogistika- tootmises vajalike tooraine ja pooltoodete sisseost ning transport toomisesse õiges koguses ja õigel ajal;
2. Materjalilogistika – tooraine- ja pooltoodete voo tagamine toomisprotsessis;
3. Jaotuslogistika -valmistoodete viimine tarbijani neile sobivas koguses ja ajal.

Tootmislogistika aga kirjeldab tootmisettevõttes toimuvaid logistilisi toiminguid ja protsesse, et iga seade ja töökoht oleks varustatud õigel ajal, täpse kogusega ja kvaliteediga toodetega. (Nyhuis, 2009)

Toodangu teekonna jälgimine ja protsesside teadmine on oluline komponent toomislogistikas ning sellele ka antud peatükis rohkem rõhku pöörame.

Järgnevates alampeatükkides antakse AS CHEMI-PHARM ja KULINAARIA OÜ tootmistes põhiliselt kasutatavatest tootmisprotsessidest ja logistikalahendustest ning analüüsime millised võimalused on tootmise efektiivsuse tõstmiseks läbi tootmislogistika parendamise. Tuuakse eraldi välja mõlema ettevõtte logistika protsesside üldised põhimõtted ja kasutatavad vahendid nende täitmiseks.

1.1 Tootmislogistika põhimõtted ja tehnikad

Järgnevalt anname ülevaate tootmislogistika korraldamise teooria põhimõtetest ja nende tehnikate kasutusvõimalustest tootmises. (Tomkins, 2010)

Tootmishoones olevate seadmete ja töökohtade plaani koostamine ja asetus ladude suhtes on olulisemaid ja kiiremaid viise tootmislogistika efektiivsemaks muutmisel. Tegurid mis mõjutavad tootmishoone plaani koostamist võib jagada kaheksaks grupiks.

1. Kasutatavad materjalid (mõõtmed, kuju, kaal, füüsikalised ja keemilised omadused) – need mõjutavad otseselt tootmismeetodeid ning materjalide

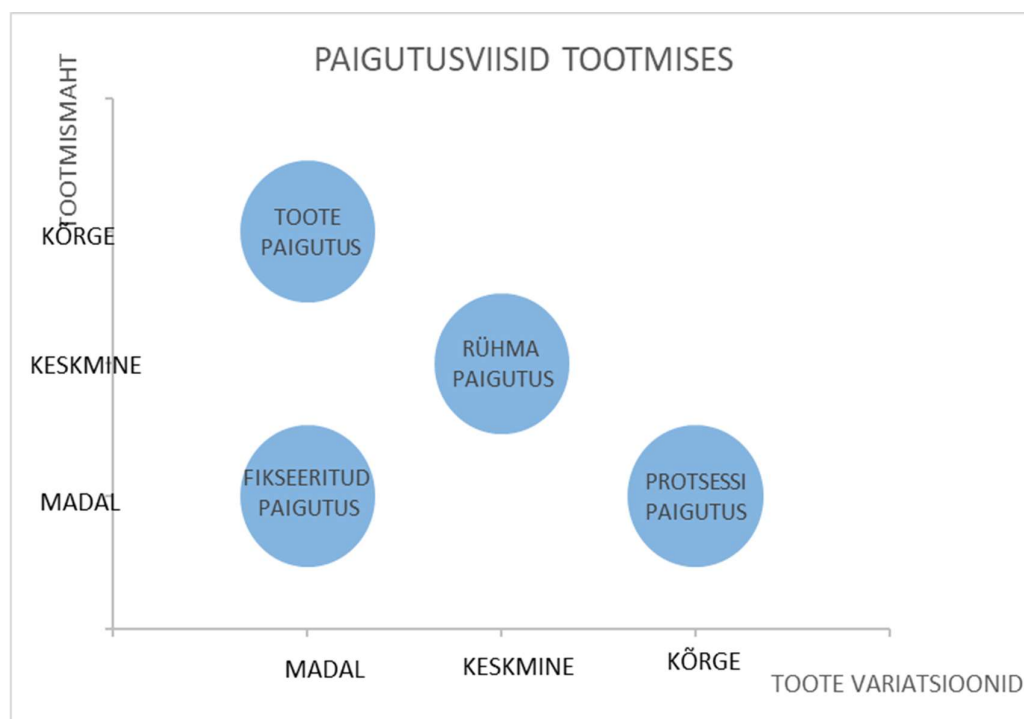
- käsitlemise ja ladustamise protsesse. Toimingute järjestus ja järjekord tootmishoone plaanil sõltub toote sortimendist ja kogusest ;
2. Tootmisseadmed (mõõtmed, kaal, kuju, kogus jne.) – Paigutuse osas on oluline teada seadmetel teostatavaid protsesse, mis tööriistu kasutatakse ning kasutamise nõudeid mis aitab süstematiseerida detailide liikumist ja minimeerida transpordikulusid;
 3. Tööjõud (töötajate ohutus, valgustingimused, ventilatsioon, müra, temperatuur jne.) – Tööjõud on vajalik tootmisprotsessi korraldamiseks ja otsese töö tegemiseks ning sisaldab endas ka järel valve ja abiteenuseid. Protsessiga on otseselt seotud ka töötajate arv konkreetsel ajal, kvalifikatsioon ja tehtavate tööde tüüp;
 4. Materjalilogistika – Eesmärk on minimaliseerida materjalide käsitlemist kombineerides neid teiste toimingutega ning kõrvaldades ebavajalikud ja kulukad liigutused. Ei lisa tootele väärtust;
 5. Käibevarud – Eesmärk on tagada pidev materjalivool (pooltooted, tööriistad) läbi tootmise vältides ootamise kulusid ja tagasilükkamist kui tootmisvool katkeb. On oluline tootmishoone planeerimisel arvestada puhvertsoonidega käibevaru ladustamiseks;
 6. Abiteenused - Töökohaga seotud teenused nagu ligipääsuteed, järel valve üksus , ohutus, tulekaitserajatised, esmaabi jne. Masinatega on seotud elektri-, hooldus ja vee varustus. Materjalide kvaliteedikontroll. Abiteenustega seotud ruumid võtavad umbkaud 30 % tehase ruumidest;
 7. Hoone ise – Tuleb arvestada, et olemas oleval hoonel on piirangud paigutuste valikute osas. Uue hoone puhul on võimalik ruumide ja seadmete paigutus suuremate piiranguteta sisse planeerida ;
 8. Tuleviku muudatused – Paigutus tehases tuleks hoida võimalikult vabana fikseeritud omaduste osas ja neid oleks võimalik võimalikult kiirelt ümber paigutada. Arvestada tuleks ka võimaliku tootmise laiendusega tulevikus sellisel moel, et see ei segaks tootmist.

Paigutusviisidest toome välja viis põhilist kasutatavat süsteemi:

1. Fikseeritud asukohaga paigutus – ressursid (materjalid, tööjõud, tööriistad) liiguvad asukoha juurde;
2. Toote paigutus (pidev tootmine) – Vooltootmine kus töökohad paiknevad tehnoloogiliste operatsioonide sooritamise järjekorras ja toode liigub töökohalt töökohale kindlas rütmis. Suured partiid ja lühikesed distantsid (konveier tüüpi);
3. Protsessi paigutus (töökojatootmine) – Iga töö kas tellimus või partiipõhine ja tihti muutuv ning koosneb mitmest erinevast operatsioonist ja vajab täitmiseks

mingit ressursi. Pikad distantsid töökohtade vahel ja kasutatakse tõstukeid või muid transpordivahendeid;

4. Rühma paigutus (pidev + töökojatootmine) – Sarnaste protsessidega detailid grupeeritakse ja vastavalt sellele moodustakse seadmete grupid mille asetus pakub minimaalset materjali liikumisteedkonda;
5. Paindootmissüsteem (FMS) – Nimetatakse automatiseeritud tootmisüksust kus grupp seadmeid on omavahel ühendatud automatiseeritud materjali käsitlemisega ja laosüsteemiga. Kohaneb kiirelt tootmisülesannete muutustega. Järgnevalt toome välja millist paigutusviisi kasutatakse lähtuvalt toote mahust ja variatsioonidest (Joonis 1.1 lk 12).



Joonis 1.1 Paigutusviisid tootmises. (Tomkins, 2010)

Süsteemne lähenemine tootmispindade planeerimisele vähendab aga materjalide ümberpaigutamise kulusid ja inimvoogude liikumist osakondade vahel. Seetõttu on oluline ära kirjeldada toodete valmistamise tehnoloogilised marsruudid ja kanda need ruumide plaanile.

Alustatakse maatriksi koostamisest (Joonis 1.2 lk 13) mis kujutab inimeste või materjalide liikumist erinevate osakondade vahel. Nende andmete põhjal saab koostada

materjalide liikumise skeemi ja arvutada materjalide ümberpaigutuse kulu. (Kabral, 2007)

Algus\lõpp	OSAKOND					
OSAKOND	1	2	3	4	5	6
1		60	120	0	0	30
2			20	60	15	0
3				25	0	100
4					60	0
5						0
6						

Joonis 1.2 Maatriks tabel materjalide liikumise kohta osakondade vahel. (Kabral, 2007)

Materjali ümberpaigutamise kulu sõltub järgnevatest teguritest:

1. Tööruumide vahel ajaühikus liikuva materjali või inimeste hulgast;
2. Tööruumide vahelisest kaugusest;
3. Ühiku ümberpaigutamise kulust.

Materjali ümberpaigutamise kulu arvutamise valem (Kabral, 2007):

$$\text{Minimaalne kulu} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij} C_{ij} \quad (1.1)$$

kus n – töökohtade või tööruumide arv;

i, j – tööruumid;

X_{ij} – ühest tööruumist teise toimetatud materjalide kogus;

C_{ij} – kulu, mis tekib materjali toimetamisel ruumist i ruumi j .

Tootmisressursside kontroll ja jälgimine on üks oluline osa efektiivsuse tõstmiseks toodete valmistamisel ja transportimisel. See annab meile võimaluse tootmist täpselt planeerida, tagada sujuv tootmise kiirus, vähendada varude kulu tootmises ja täita klientide tellimusi lühema etteteatamise ajaga.

Tootmisressursside kontrolli võime jagada kahte suuremasse rühma:

1. Tootmise kontroll – reeglid ja põhimõtted mida ettevõtte kasutab tootmisprotsesside järjestuse kontrollimiseks;

2. Inventari kontroll – kasutamata ressursid millel on väärtus. Nendeks võivad olla raha, inimressursid, materjalid, seadmed, varud tulevase nõudluse rahuldamiseks, jne.

Üks olulisemaid tootmise korraldamise taset iseloomustav näitaja on tootmistsükkel. Tootmistsükkel on ajavahemik tööobjektide tootmisse andmisest kuni toodangu valmimiseni mille kestust mõõdetakse kalendriaajas. Sellega määratakse ära lõpetamata toodangu suurus, toodete töösse võtmise ja väljumise aeg ning ennetusaja tootmise eri staadiumide vahel. (Kabral, 2007)

Tehakse vahet tootmistsükli plaanilise ja tegeliku kestuse vahel.

Plaanilise kestuse puhul kasutatakse analüütilist ja graafilist meetodit analüütilise meetodi puhul leitakse tootmistsükli kestus valemiga.

Detailipartii tootmis tsükli arvutuse valem (Kabral, 2007):

$$T = \sum_{1}^{m} \left(t_{el} + \frac{n \cdot t_{tk}}{q_t \cdot q_d} + t_e + t_k + t_{tr} + t_v + t_r \right) \quad (1.2)$$

kus m - tehnoloogiliste operatsioonide arv,

n - detailide arv partiis,

t_{el} - ettevalmistus-, lõpetamisaeg,

t_{tk} - detailide tükiaeg tundides,

q_t - töökohtade arv, kus ühel ajal tehakse üht ja sama operatsiooni,

q_d - ühel ja samal tööpingil korraga töödeldava detailide arv,

t_e - looduslike protsesside kestus tundides,

t_k - kontrolloperatsioonide kestus tundides,

t_{tr} - transpordi operatsioonide kestus tundides,

t_v - operatsioonide vaheajad tundides,

t_r - režiimikohased vaheajad tundides.

Graafilise meetodiga saab kindlaks määrata tootmistsükli aja kasutades kalenderplaani ehk tootmisgraafikut. Koostamise juures arvestatakse kõiki tootmistsükli kestust määravaid tegureid. Tehnoloogiliste operatsioonide ajad võib aga arvutada analüütilisel teel. Tänapäeval kasutatakse väga erinevaid spetsiaalselt planeerimise jaoks mõeldud tarkvaralisi lahendusi mis aitavad tootmist väga täpselt planeerida ja kohaneda erinevate muutujatega.

Tootmisprotsessi otstarbekal korraldamisel on võimalik vähendada üksteisele järgnevate tehnoloogiliste ja mittetehnoloogiliste protsesside vaheaegasid ning seda lühem on kokkuvõtteks tootmistsükkel.

Operatsioonide ajaliseks ühendamiseks tuleb korraldada tööobjektide plaanipärane liikumine ja valida õiged kulgemisviisid arvestades tehnoloogilist järjekorda.

Kulgemisviisidest tuntakse järjestikust, paralleelset ja järjestik-paralleelset kulgemisviisi.

Järjestikuse kulgemisviisi puhul liigub toote partii operatsiooni lõppedes järgnevale operatsioonile läbides nii kõik tootmisprotsessi operatsioonid. (Lisa 13) Selle liikumisviisi eeliseks on planeerimise ja arvestuse lihtsus ning transpordi väike maht. Kasutatakse tavaliselt üksik ja väikeseria toomises. Puudusteks on pikk tootmistsükkel ja lõpetamata toodangu võrdlemisi suur kogus.

Detailipartii järjestikuse kulgemisviisi valem (Kabral, 2007):

$$T_j = n \cdot \sum t \quad (1.3)$$

kus T_j – tehnoloogilise tsükli pikkus,

n – detailide arv partiis,

t – ühe detaili valmistamise kestus.

Paralleelse kulgemisviisi puhul ei sõltu detailide liikumine partii koguhulgast ja detail liigub operatsiooni lõppedes järgnevale operatsioonile (Lisa 13). Eeliseks on lühem tootmistsükkel ja väiksem valmistoodangu kogus. Keeruline on aga teostada operatiivplaneerimist ja transpordi maht on suur. Transpordi optimeerimiseks antakse väikse töömahuga detaile edasi osapartiidena ehk transportpartiidena.

Operatsioonide erinev pikkus tekitab detailide kuhjumist seda pikema ajaga operatsioonide ees seetõttu kasutatakse operatsioonide kestuse ühtlustamist.

Detailipartii paralleelne kulgemine on rakenduses suurseriatootmises ja vooltootmises.

Detailipartii paralleelse kulgemisviisi valem (Kabral, 2007):

$$T_p = \sum t + (n - 1) \cdot t_{peam} \quad (1.4)$$

kus T_p – tehnoloogilise tsükli pikkus,

t – ühe detaili valmistamise kestus,

n – detailide arv partiis,

t_{peam} – kõige pikema operatsiooni kestus.

„Järjestik-paralleelse kulgemisviisi puhul alustatakse järgmist pikemat operatsiooni otsekohe pärast partii esimese detaili väljumist eelmisest (lühemast) operatsioonist“ (Kabral, 2007). (Lisa 13)

Tootmisprotsessi läbivad detailid antakse töökohtadele erinevate kogustena sõltuvalt kas järgnev operatsioon on pikem või lühem. Sellega tagatakse, et töökoht oleks pidevalt koormatud.

Antud kulgemisviisi puhul tagame tagatakse operatsioonide pidev kulgemine ja töökohtade ühtlane koormatus. Keeruline on teostada operatiivjuhtimist.

Detailipartii järjestik-paralleelse kulgemisviisi valem (Kabral, 2007):

$$T_{jp} = \sum t + (n - 1) \left(\sum t_{max} - \sum t_{min} \right) \quad (1.5)$$

kus T_{jp} – tehnoloogilise tsükli pikkus;

t – ühe detaili valmistamise kestus;

n – detailide arv partiis;

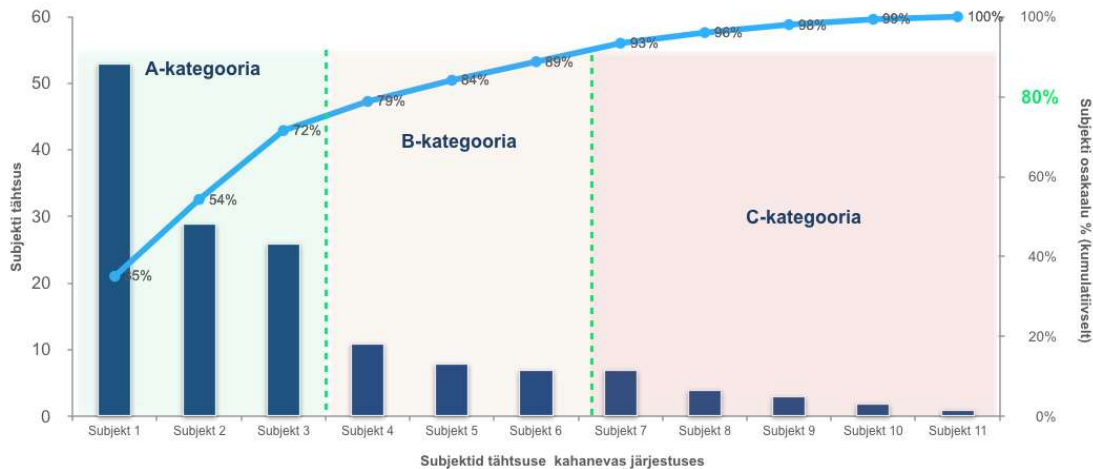
t_{max} – pikema operatsiooni kestus;

t_{min} – lühema operatsiooni kes

Inventari kontrollimise juures saame kasutada erinevaid tehnikaid, et tagada ettevõtte jaoks optimaalne varu (mitte liiga palju, mitte liiga vähe), katkematu materjalide tarnimine ja kontroll materjalide üle (kasutatud, mitte kasutatud). (Ketkar, 2014)
Toome välja mõningad lähenemisviisid inventari juhtimiseks :

1. ABC analüüs (Always Better Control);
2. HML analüüs (High, Medium, Low);
3. FSN analüüs (Fast, Slow moving and Non-moving);
4. SDE analüüs (Scare, Difficult, Easy).

ABC analüüs on kategoriseerimise meetod kus vaadeldavad subjektid jaotatakse (Pareto printsiip) rahalist aspekti silmas pidades tähtsuse järgi „A“, „B“, ja „C“ kategooriatesse, et tagada ressursside mõistlik kasutamine ajas. Praktika on näidanud, et tootmisprotsessi 5-20% sisenditest annavad 75-80% tulemustest, ülejäänud sisendid aga 5-20% tulemustest (Joonis 1.3 lk 17). Antud tabelis tuleb vaadata kas „B“ ja „C“ kategooria materjalide varud on mõistlikud ja kas neid saab vähendada. Selline meetod aitab ka paremini materjalide ladustamist ettevõttes korraldada ja tootmiseks ette valmistada.



Joonis 1.3 Näide toodete ABC-kriteeriumitest Pareto diagrammil. (Lean meetodid ja terminid 09.12.2019)

Selline kategoriseerimine on kiire ja lihtne meetod kuidas vähendada protsesside varudega seotud kulutusi ning aru saada millised detailid mõjutavad ettevõtte varude kulusid kõige rohkem.

HML analüüs on sarnane eelmisega aga vaatluse all on inventari hind (määrab juhtkond) ja väärtused tuleb loetleda kahanevas järjekorras.

H - Kõrge ühiku väärtus ;

M - Keskmine ühiku väärtus;

L - Madal ühiku väärtus.

Antud meetod aitab tootmises töökohtadel varude tarbimise üle kontrolli saavutada.

FSN analüüs põhineb organisatsiooni inventari ladustamise küsimusele.

F - Kiirelt liikuv inventar;

S - Aegalaselt liikuv inventar;

N - Seisev inventar.

See meetod aitab leida inventari mis on üleliigne või seisab ja tekitab kulu. Samuti on võimalik erinevate kaupade lõikes näha nende tarbimismäärasid ja keskmiseid seisuaegu.

SDE analüüs on hankeanalüüs kus hinnatakse inventari saadavaust.

S - Inventar on raskelt kättesaadav ;

D - Inventar on keeruliselt kättesaadav;

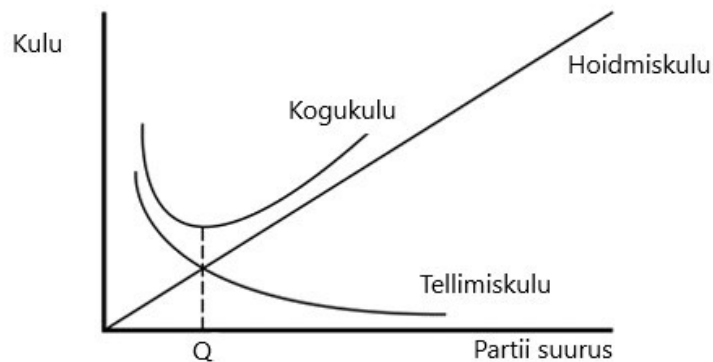
E - Inventar on vabalt saada.

Meetod aitab ära hoida tootmisseisakuid inventari puudusest lähtuvalt ja annab võimaluse piisava ajalise varuga hanke teostamiseks.

Üks olulisi väljakutseid on ettevõtte jaoks varude hoidmise ja tellimiskulude minimaliseerimine tagades seejuures optimaalne hankekogus klienditellimuse täitmiseks (Joonis 1.4 lk 18). See peab andma ettevõttele vastuse millal tellida ja kui palju on vaja tellida.

Varud jaotatakse ettevõtte seisukohalt kolme suurde gruppi milleks on:

1. Toormaterjal;
2. Valmistoodang;
3. Töös olev toode (WIP).



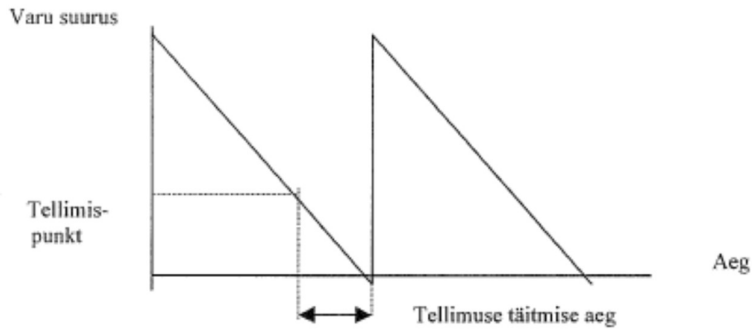
Joonis 1.4 Kogukulu sõltuvus tellimuse suurusest. (Anil Kumar, 2007)

Optimaalne partii suurus leitakse valemiga (Anil Kumar, 2007):

$$Q = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \quad (1.6)$$

kus Q = optimaalne partii suurus;
 D = nõudlus aastas;
 S = tellimuse esitamise kulu;
 H = ühe ühiku hoidmiskulu aastas.

Optimaalse partii valmistamiseks vajame aega mida nimetatakse tellimuse täitmise ajaks. Järgneval ajavarude muutmise graafiku ajateljel (Joonis 1.5 lk 19) on toodud varu suurus mis määrab uue tellimuse hetke ja mida nimetatakse tellimuspunktiks.



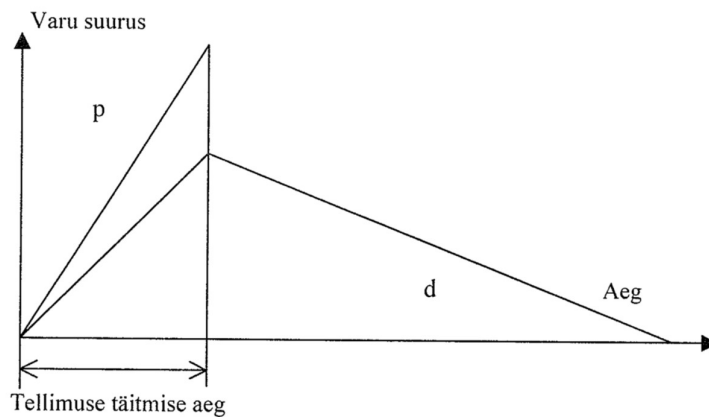
Joonis 1.5 Tellimis-punkt ajavarude teljel. (Kabral, 2007)

$$T_{\text{ellimuspunkt}}(d)L \quad (1.7)$$

kus d - päevane nõudlus;

L - ennetusaeg päevades.

Ettevõtte varude hoiustamise kulude seisukohalt on otstarbekas kasutada partiisid mis on võrdsed või suuremad nõudlusest (Joonis 1.6 lk 19). See annab võimaluse tellimusi täita kokkulepitud aja jooksul ettevõtte siseselt kus tellimuskulu on seadme või töökoha ettevalmistamise kulu.



Joonis 1.6 Varude muutus kokkulepitud tellimusaaja juures. (Kabral, 2007)

Partii optimaalne suurus leitakse valemiga (Kabral, 2007):

$$Q = \sqrt{\frac{2DS}{H \left(1 - \frac{d}{p}\right)}} \quad (1.8)$$

Tellimuse suurus $Q=(p)t$;

Tellimuse täitmise aeg $t=Q/p$ ajaühikut.

kus p – tootmiskaht ajaühikus;

T – tootmise kestus ajaühikutes;

d – nõudlus päevas;

Q = optimaalne partii suurus;

D = nõudlus aastas;

S = seadme seadistus või töökoha ettevalmistamise kulu;

H = ühe ühiku hoidmiskulu aastas.

Materjalivajaduse korraldamise süsteemi väljatöötamine tootmisüksuse jaoks on täna ettevõtte jaoks üks suuremaid väljakutseid mis aitab vähendada ühiku tootmiskulusid, parandab kvaliteeti, töötingimusi, tõstab tootlikust ja annab võimaluse parandada ettevõtte ruumi kasutamist. Tüüpilises tootmisettevõttes on materjalikäsitlusega hõivatud 25% tööjõust, 55% ettevõtte põrandapinnast on materjali jaoks reserveeritud ning hõivab 87% kogu tootmisajast. Toote omahinnast võib aga 15% kuni 70% kuluda just materjali käsitlusele. On väljakujunenud arusaam, et materjalide transport tootele lisandväärtust ei loo, tekitab ainult lisakulu ning mida oleks vaja minimaliseerida või automaatsüsteemidega toetada.

Kaasaegsem lähenemine materjali transpordile näeb aga võimalusi selles, et tõsta tootmise paindlikust, toetab ettevõtte tarkvara süsteemidega liitumist ning võimaldab kokku hoida aega ja ruumi.

„Materjali käsitlemine all mõeldakse materjali pakkumist täpses koguses, õiget materjali, mis on etteantud konditsioonis, õigesse kohta, õige positsiooniga, õige sagedusega, etteantud hinnas, õigete meetoditega ning õigel ajal“ (Tomkins, 2010).

Materjali käsitlemisel tuleb arvestada järgmiste põhimõtetega mis aitavad materjali käitlemist ettevõttes korraldada (Tomkins, 2010):

1. Planeerimise põhimõte – Kinnitatud plaan kus kõik kavandatud eesmärgid, meetodid ja funktsionaalsed kirjeldused täielikult määratletud. Lihtsustatult defineeritud materjali käsitlemise plaan kus kirjeldatakse ära materjal (mis) ja mis liigutused (millal ja kuhu);
2. Standardiseerimise põhimõte – Vähem mitmekesisust ja on kohandatud kasutatavatele protsessidele ja seadmetele;
3. Töö põhimõte – Materjali käsitlemine tuleb viia miinimumini samas ohustamata tootlikust ega nõutavat teenindustaset;

4. Ergonoomika põhimõte – materjali käsitlemise kavandamisel tuleb arvestada töötajaga, et tagada ohutud ja tõhusad meetodid käsitlemisel;
5. Ühikkoormuse põhimõte – on kaubaalus mida saab ladustada või teisaldada ühe üksuse asukohas ühe korraga olenemata üksikute esemete arvust mis moodustab koorma;
6. Ruumi kasutamise põhimõte – Tõhus ja tulemuslik kasutamine hõlmab kogu ruumi kolmemõõtmelisena ja seda arvestatakse kuupmeetriks;
7. Süsteemi põhimõte – Materjali liikumise ja ladustamise tegevused on integreeritud ühtseks koordineeritud süsteemiks mis hõlmab vastuvõtmist, kontrollimist, ladustamist, tootmist, kokkupanekut, pakendamist, saatmist, transporti ja tagastuste käsitlemist;
8. Automatiseerimise põhimõte – Materjalide käsitlemine peab olema mehhaniseeritud või automatiseeritud ning ettevõtte arvutisüsteemidega ühendatud tagamaks efektiivne töö, suurendada reageerimisvõimet, täiustada järjepidevust ja ennustatavust ;
9. Keskkonna põhimõte- Keskkonnaga seotud mõju vähendamine läbi prognoosimise ja negatiivse mõju kõrvaldamise;
10. Elutsükli kulu põhimõte – Majandus analüüs peaks arvestama kõiki materjali käsitlemisega ja nendest tulenevate süsteemide elutsükli kulusid.

Materjalide käsitlussüsteemi kavandamisel tuleb läbida kuus tehnilist projekteerimisetappi:

1. Määrata materjali käitlemissüsteemi eesmärgid ja ulatus;
2. Analüüsida materjali teisaldamise, ladustamise, kaitsmise ja juhtimise nõudeid;
3. Tuleb genereerida materjali käsitlemise süsteemi nõuetele vastavuses alternatiivseid kujundusi;
4. Alternatiivsete materjalide käsitlemise süsteemi konstruktsioonide hindamine;
5. Eelistatud kujunduse valimine materjali teisaldamiseks, ladustamiseks, kaitsmiseks ja kontrollimiseks;
6. Rakendada eelistatud kujundus, sealhulgas tarnijate valimine, personali koolitamine, seadmete paigaldamine, silumine ja käivitamine ning süsteemi jõudluse perioodilised auditite koostamine.

Üks oluline punkt on perioodiliste auditite läbiviimine, et tagada pidev süsteem täiustamine ja seeläbi saab käitlemissüsteemi palu tõhusamalt kasutada.

Alternatiivsete materjalide käitlemissüsteemi loomisel tuleb juhinduda ideaalse süsteemi lähenemisviisist kus tegemist oleks täiuslikus süsteemiga mille maksumust,

kvaliteedi probleeme, ohutusriske, ruumi raiskamist ja juhtimise ebatõhusust pole. (Tomkins, 2010)

1.2 Süstemaatilise käitlemise analüüsi SHA põhimõtted ja tehnikad

Üks enamlevinud materjali käsitlemise lähenemisviise on süstemaatiline käitlemise analüüs (SHA). Selle meetodi juures kasutatakse loogilist ja organiseeritud universaalselt lähenemisviisi materjalide käitlemisele ettevõttes ning see hõlmab materjale, tooteid, esemeid, aineid või muid asju mida liigutatakse, veetakse või füüsiliselt ümber paigutatakse. (Muther, 1987)

SHA koosneb mitmest etapist mis läbitakse algsest eesmärgist kuni füüsilise paigalduseni välja (Muther, 1987):

1. Faas I – väline integratsioon kus uuritakse materjali liikumist väljaspool probleemipiirkonda (materjalide sisse ja väljavedu hoone väliselt) ;
2. Faas II – üldine käitlemise kava kus määratakse liikumismeetodid suurmate osakondade vahel ja lepitakse kokku varustuse tüüpides ja kasutataves veoühikutes;
3. Faas III – Üksikasjalik käitlemisplaan kus pannakse paika meetodid materjali liigutamisel iga üksiku punkti vahel nagu töökohad, seadmed, kaubaalused jne. ;
4. Faas IV – Paigaldamine ehk plaani elluviimine. Hõlmab valmisolekut, varustuse hankimist, paigaldust, väljaõpet ja ajakava.

Põhilised võtme sisendid mida vajame materjali käitlemise analüüsimiseks (SHA) on järgnevad (Muther, 1987):

P – tooted või materjalid (ingl k *Products or Materials*). Transporditavus sõltub omadustest või kaubaalusest mida kasutatakse;

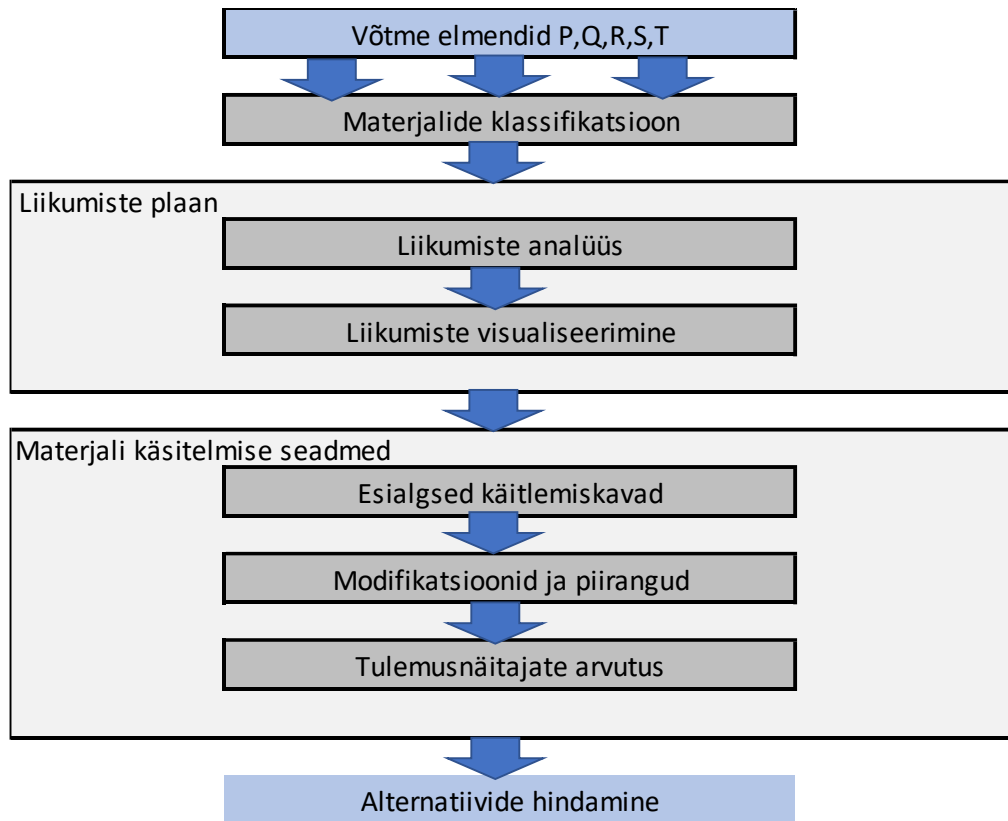
Q – kogused (ingl k *Quantities*). Kas kogus ajaühiku kohta (voolu intensiivsus) või kogus teekonna kohta (kasulik koorem);

R – marsruutimine (ingl k *Routing*). Iga käik hõlmab endas fikseeritud terminali maksumust ja muutuvat teekonna maksumust;

S – tugiteenused (ingl k *Supporting Services*). Saatmis protseduurid, hoolduspersonal, paberimajandus tellimuste täitmisel on toetavad tegevused ja teenused millest materjalikäitlemise süsteem ja seadmed sõltuvad, lisaks ka hoonete paigutus, hoone omadused ja ladustamis kohad moodustavad süsteemi keskkonna milles materjali käsitlemise süsteemid/seadmed peavad töötama;

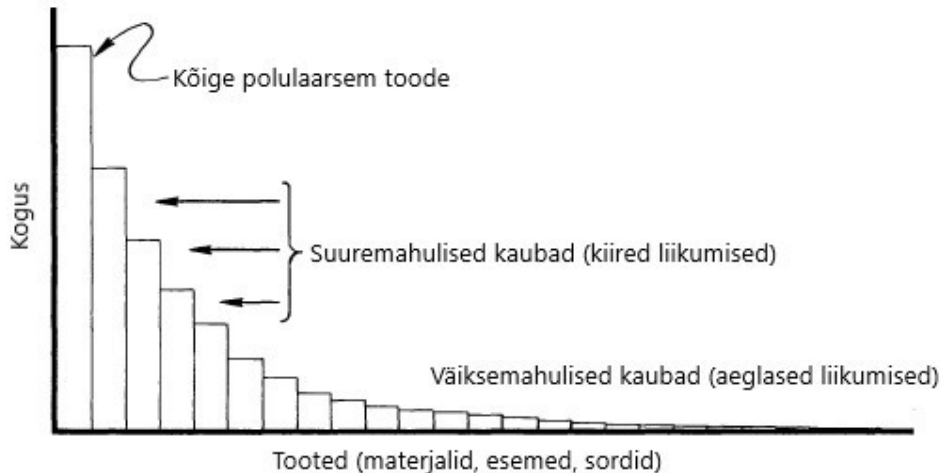
T – aeg (ingl k *Time*). Üks oluline aja faktor on korrapärasus millega liikumist tuleb teostada. Teine oluline faktor on liikumise kestuse aeg.

Järgnevalt toome ära SHA juures kasutatava plaani koostamise protseduuri (Joonis 1.7 lk 23);



Joonis 1.7 SHA protseduuride järjekord. (Muther, 1987)

Suurima mõjuga materjalide käsitlemisesüsteemile on materjalid ise. Seetõttu tuleb selle protsessi käigus aru saada mida täpselt me peame liigutama ja kuidas me need materjalid nende karakteristikute järgi rühmitame. Füüsiliste omaduste järgi saame materjale rühmitada näiteks suuruse, kaalu, kuju, ohu taseme või seisundi järgi. Teisteks omadusteks võivad olla partii suurus, ajastus või erinõuded (regulatsioonid) materjalidele. Tootekoguse analüüs toodete, tooterühmade või materjalide klassis on toodud joonisel (Joonis 1.8 lk 24).



Joonis 1.8 Tootekoguse analüüs ühesuguste füüsikaliste omaduste järgi. (Muther, 1987)

Kui materjalid on tuvastatud ja klassifitseeritud saab edasi liikuda liikumiste plaani juurde. Esmalt kui saame toodete käike visualiseerima hakata tuleb paika panna paigutuse küsimused. Materjali(de) liikumiste analüüs on lahutamatult seotud paigutusega sest iga teisaldamine või käitlemine annab materjalidele koha väärtuse ja koht seotakse sellega kust iga käik pärineb ja lõppeb (Joonis 1.9 lk 25). Täpsemalt määrab paigutus kauguse lähete- ja sihtkoha vahel ja see vahemaa on peamine tegur mis tahes käitlemisviisi valimisel. (Muther, 1987)

Tootmishoones enamlevinud paigutusviisidest oli meil eelnevalt juttu ja nimetasime viis erinevat paigutuse viisi (Joonis 1.1 lk 12).

Tootmispindade juures tuntakse kolme põhilist voolu mustrit milleks on:

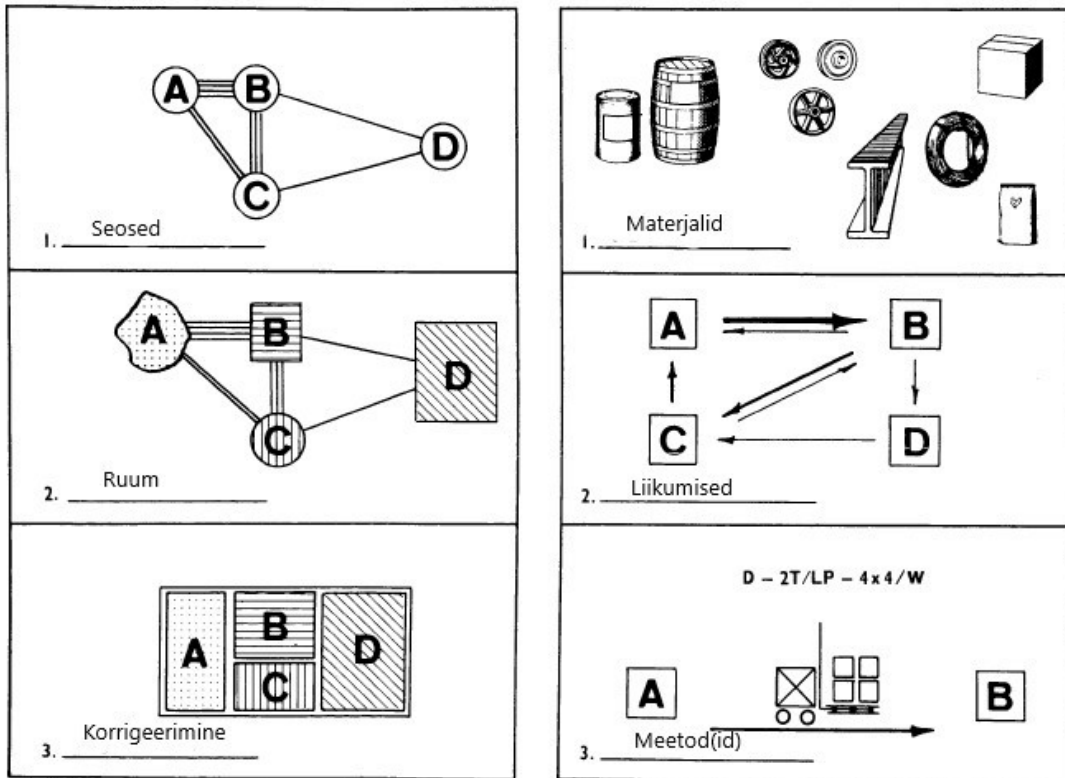
1. Sirgelt kulgev (otse läbi);
2. L- kujuga;
3. U – kujuga.

Ringikujuline ja siksakiline vool on kombinatsioon eelpoolnimetatud kolme voolumustri kombinatsioon. Kõige lihtsamaks käsitlemise ja paigutuse sisukohast loetakse sirgelt kulgevat voolu.

Materjali käitlemise juures on olulised neli asja mida me tahame teada kasutades asendiplaani:

1. Kus asuvad füüsiliselt iga liigutuse lähete- ja sihtpunktid;
2. Millised marsruudid ja materjali käsitlemise meetodid on hetkel kasutuses;
3. Milline on ruum kus tooted ja materjalid liiguvad (põranda koormused, lae kõrgused, sammaste vahe, põranda astmed jne.);

4. Millised tegevused ja milline paigutus on kavandatud igas piirkonnas kus kaubad liiguvad.



Joonis 1.9 SHA liigutuste analüüs. (Muther, 1987)

Selleks, et analüüsida liikumisi peame teadma järgnevaid andmeid:

1. Materjal (tooted või materjali klassid) – füüsikalised ja muud omadused;
2. Marsruut (lähte ja sihtkoht või liikumistee) – liikumise distants ja liikumistee füüsiline olukord;
3. Vool (või liikumine) – voolu intensiivsus (materjalide kogus marsruudil perioodi kohta) ja voolu tingimused (või liikumise).

Teisaldavate materjalide mõõtmine toimub tavaliselt kaalühikutes või mahuühikutes vahemaad aga tavapäraseid ühikuid kasutades (meeter, kilomeeter jne.).

Voolu intensiivsuse matemaatiline valem:

$$I = \frac{nP}{t} \quad (1.9)$$

kus I - voolu intensiivsus,

n - toote või materjali ühikute arv,

P - toote või materjali mõõte ühik (tonni, kuupmeeter, ühikute arv jne.),

t - ajavahemik (nädal, päev, tund).

Transpordi töö (*Transport Work*) on materjali teisaldamiseks tehtud töö ja on antud valemiga:

$$TW = I \cdot D \quad (1.10)$$

kus TW – transpordi töö,
I – voolu intensiivsus,
D – distant.

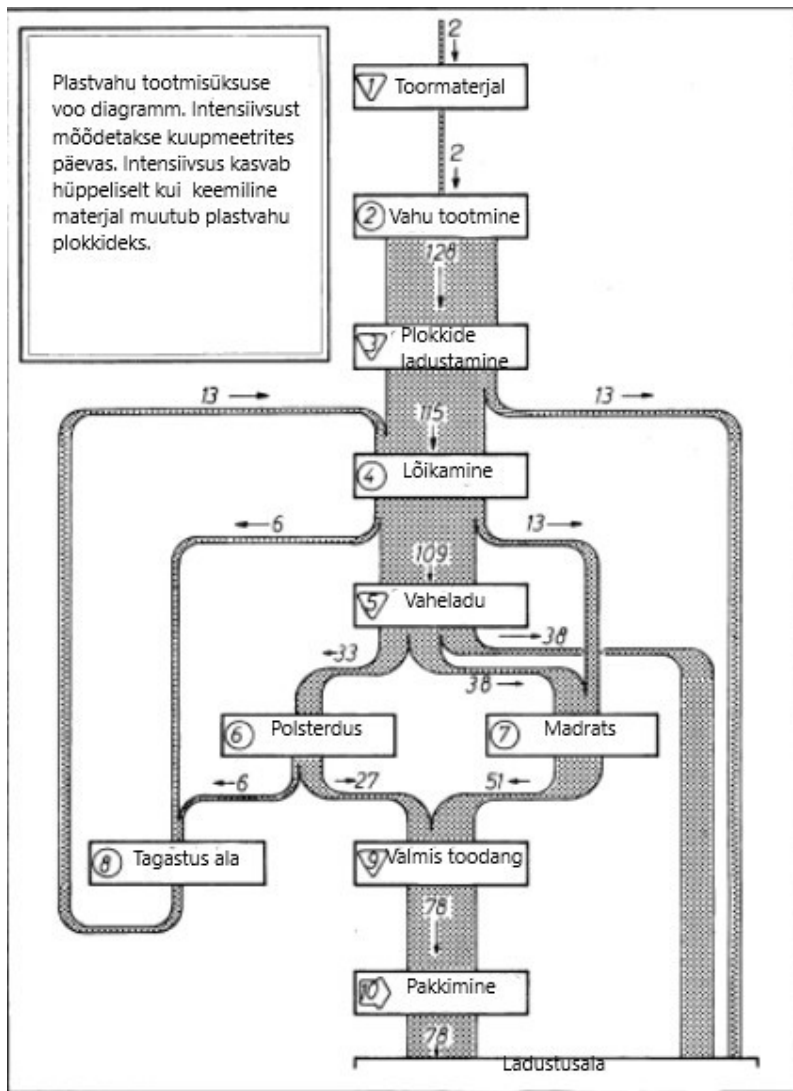
Liigutuste analüüsi saame teha kahel erineval moel kus esimesel vaatleme korraga ühte toodet või materjali klassi kogu protsessi vältel mida nimetatakse ka protsessianalüüsiks, teisel juhul aga analüüsitakse ühte marsruuti korraga (lähte ja sihtkoht) mida nimetatakse lähte-sihtkoha kaardistamiseks.

Kogutud andmed saab kokku võtta ja see tuvastab iga marsruudi, materjaliklassi ja liigutuste suhtelise tähtsuse ning need andmed kodeeritakse ja hinnatakse tähtsuse järgi (LISA 3).

SHA visualiseerimist saab alustada kui käikude analüüsimine ja konkreetsed paigutuspiirkonnad on valmis. Selline visuaalne lähenemine annab meile parema ülevaate andmetest ja aitab meil tekkinud probleeme lihtsamalt lahendada.

Materjali liikumist saab visualiseerida mitmel erineval viisil:

1. Protsessi vooskeemid (Joonis 1.10 lk 27);
2. Paigutusega seotud vooskeemid (LISA 4);
3. Matemaatilised diagrammid või graafikud.



Joonis 1.10 Plastvalu tootmisüksuse protsessi voogdiagramm. (Muther, 1987)

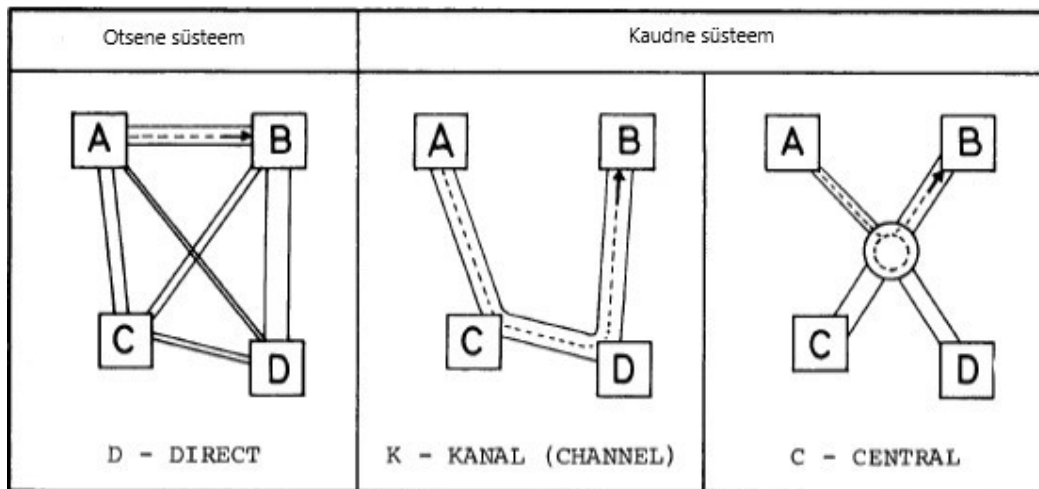
Selline graafiline meetod aitab küll lahendada väiksema mahuga ülesandeid kuid suuremate puhul tuleks kasutada spetsiaalseid arvutiprogramme mis võimaldavad teha ka kolmemõõtmelisi keerukamaid ülesandeid (tootmisruumid asuvad erinevatel korrustel).

Antud uurimistöös kasutame kahte 3D simuleerimis tarkavara milleks on:

1. Visual Components – võimaldab planeerida ja koostada virtuaalset kolmemõõtmelise tootmishoonet, simuleerida tootmisprotsesse, ressursside liikumist ning koostada statistikat ja raporteid. Läbi IoT platvormide on võimalik siduda reaalse tehase virtuaalse tehasega mida tuntakse ka digitaalsete kaksikutena (Digital Twin). (Visual Components koduleht 06.12.2019) :
2. Siemens Tecnomatix – on digitaalsete tootmislahenduste pakett mis võimaldab digitaliseerida tootmist läbi toormaterjalide muutumise reaalsel tooteteks.

Aitab tõsta toomise efektiivsust sidudes tootmisprotsessid, tootmise ja teenindus protsessid. (Siemens Technomatix koduleht 6.12.2019)

Materjalide käsitlemise meetodite valiku juures peame arvestama kahe printsiibiga mis mõjutab selle hinda. Esiteks distantsist lähtuvalt (mida lühem distants seda odavam on liigutamine) ja teiseks kogusest lähtuvalt (mida suurem kogus seda väiksem ühiku hind). Materjalide käsitlemise seisukohas on hea kui saab kasutada mõlemaid põhimõtteid koos ja seda tuntakse ka kui otsene süsteem (*direct system*). Kui aga distants on pikk ja kogused väiksed ning puudub võimalus muuta distantsi (asukohad paigas) siis on ainuke võimalus neid liikumisi integreerida või kombineerida saavutades suurema ühiku koguse. Seda tuntakse ka kui kaudne süsteem (*indirect system*). Otsese ja kaudse süsteemi kasutamine on näidatud joonisel (Joonis 1.11 lk 28).



Joonis 1.11 Liikumise viisid. (Muther, 1987)

Otsest süsteemi kasutatakse siis kui voolu intensiivsus on kõrge ja vahemaa väike. Kanal süsteemi puhul liiguvad materjalid kindlaksmääratud marsruudil koos teiste materjalidega. Kasutatakse kui intensiivsus on väike või mõõdukas ning vahemaa kas mõõdukas või pikk ning paigutus ebakorrapärane. Kesk süsteemi puhul liiguvad materjalid etteantud marsruudil tsentraliseeritud sortimisi või lähetamisalalt edasi sihtkohta. Kasutatakse madala voolu intensiivsusega ja kui vahemaad on mõõdukad või pikad.

Materjalide käsitlemise seadmeid saab tavaliselt klassifitseerida nende tehniliste omaduste või füüsilise disaini järgi kui ka kulu elemendid saavad olla selle valiku aluseks.

Vaadates kogumaksumuse näitajaid saab seadmeid jagada kahte klassi:

1. Terminali ja liikumise kulu;

- Käsitlemise seadmed – madal terminali hind kuid kõrge liigutamise kulu (ökoonoomne lühematel distantsidel kasutades) .
 - Liigutamise seadmed – kõrge terminali kulu kuid madal liigutamise kulu (ökoonoomne pikematel distantsidel kasutades) .
2. Fikseeritud ja muutuvad kulud.
- Lihtsad seadmed – madalad püsikulud (madal investeering) kuid kõrged muutuvad kulud (tööjõukulu). Sobib madala intensiivsusega ja pikkadel distantsidel kasutamiseks.
 - Komplektsed seadmed - Kõrge püsikulu kuid madalad muutuvad kulud. Ökonoomne kui tagab sujuva voolukiiruse. Sobib kõrge intensiivsusega ja pikkadel distantsidel kasutamiseks.

Tehnilise omaduste ja füüsilise disaini järgi saame materjali käsitlemise seadmed jagada aga järgnevalt (Tomkins, 2010):

1. Konteinerid ja kaubaalustele pakitud tükk-kaup;
 - Konteinerid
 - Alused
2. Materjali käsitlemise seadmed;
 - Konveierliinid
 - Tööstuslikud sõidukid
 - Üherööpalised süsteemid, tõstukid, kraanad
 - Mobiilsed robotid
3. Ladustamis- ja väljatõsteseadmed;
 - Ühiku koorma ladustamine ja väljavõtmine
 - Väikse koormaga ladustamine ja väljavõtmine
4. Automaatsed andmete kogumise ja kommunikatsiooni seadmed.
 - Automaatne tuvastamine ja äratundmine (RFID, ribakood, targad andurid)
 - Automaatne paberivaba andmete edastamine (skännerid, arvutiterminalid, elektrooniline andmevahetus)

Toome siinkohal välja mõningate transpordiseadmete omavahelise võrdluse ja kulu arvutuse olenevalt voolu intensiivsusest ja läbitud vahemaadest.

- Konveier liinid – hind kasvab lineaarselt tema pikkusega;
- Tõstukid (elektriline, gaas) – kõrge soetusmaksumus, tööjõu kulu suur;
- Mobiilsed robotid – kõrge soetusmaksumus, tarkvaralised kulud (programmeerimine ja installeerimine);

Valem transpordikulu arvutamiseks sõltuvalt vahemaast (Tomkins, 2010):

$$C = c_e N; \quad N = \left(\frac{qs}{D_e} \right) \quad (1.11)$$

kus C – kogumaksumus,
 c_e – kulu ühiku (distantis) kohta,
 N – jaamade arv maha- ja peale laadimiseks,
 s – vahemaa jaamade vahel,
 q – koormusühikute summa ajaühiku kohta mida veetakse jaamade vahel,
 D_e – maksimaalne transpordivahendi liikumisulatus.

Esialgsed materjalide käsitlemiskavad pannakse kokku eelnevalt kogutud materjalide käitlemisvalikute (seadmed, marsruudid, veoühikud) põhjal ja kantakse plaanile (Lisa 5). Neid andmeid analüüsitakse ja võrreldakse ning mille eesmärk on tagada, et kõik võimalikud lahendused on välja toodud.

Järgnevalt vaatleme aga mõningaid praktilisi piiranguid ja erinevaid muutuvaid kaalutlusi mis ei ole seotud otseselt materjali käitlemise vaatepunktist kui nõuvad plaanide kohandamist, et tagada nende teostatavatus.

Üldiselt jagunevad materjali käitlemise opereerimise ja koordineerimine probleemid kaheks üldiseks osaks milleks esimene on organisatsiooni ja personali küsimused (peavad sobima ettevõtte juhtimismudeliga, nõuab erinevaid töösoskusi, erinevad tasustamise tasemed, koolitused jne) ning teiseks on protseduurid, ajakava koostamine, side ja kontroll (töömeetodid, käitlemisprotseduurid, kulutõhususe kontroll jne.). Kuid on ka teisi erinevaid piiranguid millega tuleb materjalide käsitlemise juures arvestada nagu ettevõtte välised tegurid, integreerimine tootmisprotsessi või protsessi seadmetega, hoone konstruktsioonilised omadused, piiratud kapitali investeerimisfond, sobivus olemasolevate käitlemiseseadmetega, muud piiravad määrused või seadused jne. Arvestada tuleb sellega, et kõik piirangud ei pruugi ilmingimata kehtida sest sageli saab ka neid muuta.

Kui oleme selgeks saanud millised plaanid tunduvad kõige realistlikumad ja millised muudatused ettevõttes tuleb selle jaoks läbi viia siis saame kalkuleerida investeerimisvajaduse, eeldatavad tegevuskulud ning vajalikud varustuse ja tööjõukulud.

Seadmete ja tööjõu kalkulatsioonide tegemisel peame arvestama asjaoluga, et materjali käsitlemise tingimused võivad ajas muutuda ja see mõjutab otseselt arvutamise täpsust ning soovitatav on kalkulatsioonid teha erinevaid meetodeid kasutades nagu näiteks arvestades keskmisi ja maksimaalseid tingimuse nõudeid koos.

Enamlevinud materjali käsitlemise ajaandmed on järgnevad - vahetuste arv, maksimaalsed ja keskmised kasutustingimused, hooldus ja remondiaeg, operaatorite

isiklik aeg, ettevalmistus, lõpetamise ja koristusaeg, ajastamise ja planeerimise aeg, tühikäigud, oote, sünkroonimise või tootmisviivituse aeg, tegelik versus etteantud võimsus, jääkide ja jäätmete eemaldamine või käitlemine.

Investeeringute ja tegevuskulude arvutamisel lähtume materjalide käitluskava kulude maksumuse seisukohast ning see jaotub esiteks investeerimisnõueteks kus arvestatakse käitlemisplaani ostu ja paigalduse kogukulu nagu näiteks seadmed, abiseadmed, hoone ümberehituse kulud, kolimiskulud, ettevalmistuskulud ning käbekapitali mis tahes suurendamine. Teiseks jaotuseks on tegevuskulud mis omakorda koosneb veel püsikuludest nagu kapitalikulu ja muud püsivkulud ning muutuvkuludest nagu varustuse muutuv kulu ja otsene tööjõukulu.

Saadud tulemusi hinnatakse ja analüüsitakse kulude või rahalises võrdluses ning immateriaalsete varade võrdluses mis hõlmab eeliste ja puuduste võrdlemist ja kaalutud teguri analüüsi. (Muther, 1987)

1.3 Automaatjuhtimisega sõidukid ja nende valiku kriteeriumid

Automaatjuhtimisega sõidukid (*automated guided vehicles*) on ühed paindlikumad materjalikäsitlussüsteemide tüüpe. Need sõidukid on võimelised iseseisvalt teisaldama väga erineva kaalu ja kujuga kaupa kasutades tänapäevaseid juhtimis ja marsruutimissüsteeme. AGV on seotud läbi tsentraliseeritud arvutisüsteemi seotud tootmis- ja teeninduskeskkonnaga, et kooskõlastada nende liikumist teiste materjalide käsitlemiseseadmetega ja AGV-a. See annab võimaluse väga täpselt planeerida materjalide liikumist tootmises ning saada liigutuste ja toimingute tagasisidet reaajas. Valik AGV alusplatvorme ja kahveltõstukeid on toodud lisas (Lisa 6).

Marsruutimissüsteemid võimaldavad leida hoones optimaalsed liikumisteed ja tagab kokkupõrke ohutuse teiste seadmetega, sõidukitega ja operaatoritega. (Tomkins, 2010) Siinkohal toome eraldi välja enamlevinud AGV tüübid:

1. Kaubaaluste tõstukid – isejuhtiv või operaatorjuhitav kaubaaluste automaatseks teisaldamiseks. Kaupa saab nii manuaalselt kui automaatselt peale- ja maha laadida. Viimase puhul peab olema tagatud kauba täpne paigutus;
2. Kahveltõstukid – igapäevaselt operaatori sekkumist ei vaja. On võimeline koorma automaatselt peale- ja maha laadima, virnastama ja kaubalauseid laiali vedama;
3. Ühiku koormaga sõidukid – töötab täielikult automatrežiimis ja on ühendatud lao ja tootmiseseadmetega. Saab rakendada konkreetseid ülesandeid kaubaalusele. Väga mitmekülgse liikumisvõimega ja võimalik lisada erinevaid maha- ja peale laadimise

mehhanisme. Enamlevinud AGV tüüpe, tootevalikus on väga erineva kandevõime ja suurusega mudelid;

4. Puksiirvedukid – automaatsed puksiirvedukid on mõeldud kauba teisaldamiseks haagistel lahtiste või pakendatud toodete transpordil. Haagiseid saab eraldada automaatselt või käsitsi. Manööverdusvõime on piiratud;
5. Tööplatvormid – erisõiduk mis on mõeldud toote vedamiseks läbi erinevate tööalade. On integreeritud üldisesse tootmissüsteemi ning on individuaalselt juhitavad ja jälgitavad.

Suunamismeetodid millega AGV saab liikuda etteantud marsruudil on jaotatud kahte suuremasse rühma:

1. Juhtme juhtimine – selle meetodi korral asetatakse elektrivarustus maa alla ning mis kannab voolu etteantud sagedustel. AGV juhindub selle elektrivarustuse sagedustest liikumisteede määramisel. Sobib kasutada kindlate marsruutise korral mida tihti ei muudeta ning suhteliselt madalad kulud. Miinustaks madal paindlikus teekondade valikul ning tundlik väliste elektromagnetiliste signaalide suhtes;
2. Juhtmevaba juhtimine – sobib kasutamiseks sageli muutuvate maha- ja peale laadimis kohtade ja marsruutide korral. Neid kutsutakse ka vabalt liikuvateks sõidukiteks kus marsruutide navigeerimisel eelnevalt määratud sihtkohtadesse toimub pidevalt mõõtes ja korrigeerides pardakompuutrit kasutades ning takistuse tekkimisel reageerima kas seisma jäämisega või võimalusel ümber takistuse sõitma.

Juhtmevaba juhtimist on kahte tüüpi:

1. Juhtmevaba põranda märgistusega juhtimine – selle meetodi puhul kasutatakse põranda märgistamisel kas optilist, värvitud või keemilist triipu. Juhtmega juhtimisega võrreldes on paindlikum ja lihtne paigaldus;
 - Optiline juhtimine – toimub läbi sõiduki küljes oleva optilise anduri mis peegeldunud valgusignaale tunnevad ja vastavalt sellele toimuvad liikumise juhtimisotsused. Põrandale asetatakse reflektoriga märgid mille pealt peegeldunud valgus kodeeritakse liikumise infoks;
 - Värvitud või keemiline triip – Põrandale kantakse fluorestsentsvärvi või keemilise ainega triip mida sõiduki küljes olev andur (ultraviolet) tuvastab ja kodeerib juhtimisotsusteks.
2. Juhtmevaba põranda märgistusega juhtimine.
 - Pime navigatsioon – selle meetodi korral arvestatakse sõiduki suhtelist asukohta mõõtes veoratta täpset pöörde ja juhtimis nurka. Pardakompuuter

arvestab sõiduki asukohta lähtekoha suhtes. Suur veavõimalus rattalibisemise korral;

- Laserkiir – juhtimine toimub läbi laserkiire skaneerimise kus lesekiired näitavad liikumise suuna. Sõiduk on varustatud valgustundlike sensoritega ja vastavalt saadud infole korrigeeritakse liikumissuunda;
- Pime- ja laserkiire navigatsiooni kombinatsioon – lasernavigatsioon korrigeerib veoratta libisemisest tekkivat viga. Tänapäeval enimlevinud lahendus tükikoormaga sõidukite puhul;
- Majaka süsteem - sõiduki asukoht tuvastatakse jälgimisseadme abil mis mõõdab kaugust ja suunda ükskõik millisest majakast ja on kinnitatud sõidukile. Majakad paigutatakse eelnevalt kindlaksmääratud kohta ja edastab nurgaandmed sõidukile positsioneerimiseks;
- Inertsiaalne juhtimine – kasutakse güroskoop positsioneerimise süsteemi mis on seotud pardaarvuti, sõiduki ja juhtrajale paigaldatud märgistest asukoha kalibreerimiseks.

Marsruutimissüsteemid on olulised sõiduk optimaalseks tee valikuks ning ka liiklusjuhtimise ja kauba transfeer ülesannete täitmiseks. Tavaliselt on sõidukile paigaldatud pardakompuuter mis töötleb sensoritelt saadud andmeid ning läbi võrgukontrolleri edastab või võtab seda infot vastu ettevõtte arvutisüsteemidelt.

AGV -de juures kasutatakse eelprogrammeeritud tarkvara lahendusi kus saab kasutada erinevaid toiminguid ja käsklusi (maha- ja peale laadimine, marsruutide koostamine, liikumis trajektooride optimeerimine jne.) sõiduki juhtimiseks. Tehnika arenguga muutuvad aga eelpoolnimetatud juhtimissüsteemid järjest intelligentsemaks ja see annab võimaluse siduda need süsteemid ettevõtte ERP süsteemidega mis aitab omakorda lihtsustada ja automatiseerida järjest keerukamaid ettevõtte logistilisi ülesandeid.

Disainides ja kavandades AGV süsteeme tuleb leida vastused järgnevatele küsimustele:

1. Millist tüüpi kaupa veetakse;
2. Milline sõiduk sobib kindlaksmääratud kauba vedamiseks (Lisa 6);
3. Milline on ettevõtte ehitis (liikumiskäikude kõrgus, laius, uksed, astmed trepid jne.);
4. Maha- ja peale laadimispunktide asukohad ja puhvri suurused;
5. Sõiduki teekondade valik;
6. Mitu sõidukit on vaja;
7. Suunamismeetodi valik;

8. Integratsioon olemasoleva laosüsteemiga;
9. Marsruutimis süsteemi valik (sidumine ettevõtte tarkvaraga);
10. Kas kavandatud süsteem vastab etteantud läbilaskevõimele;
11. Kuidas süsteem töötab olemasolevas materjalivoos (muudatuste vajadus).

AGV süsteemide projekteerimine hõlmab ka voolutee kujundamist ja vajalike sõidukite arvu määramise minimaliseerimist. Voolutee kujundamisel võetakse arvesse vooluradade füüsilist paigutust ja sõidukite hulga vajaduse uurimisel hinnatakse vahetuses vajaminevat sõidukite koguaega ja see annab võimaluse määrata nõutavate AGV- de arvu. Vooluteede tüübid on toodud joonisel (Joonis 1.12 lk 35).

Märkimisväärne mõju kogu süsteemi paigalduskulu, sõiduaja ja tegevuskulude kohta on maha- ja peale laadimise asukohtade ja teeraja kujundamisel. Sellest sõltub otseselt vastavalt etteantud läbilaskevõimele kasutatavate AGV -de arv. Oluline komponent AGV süsteemide valikul ka ühiku koormus. Suure ühiku juures on vaja vähem AGV -id kuid nõuab keerukamat käsitlemist ja tõsteseadmeid, väiksema ühiku koormuse puhul on vaja küll rohkem AGV -id kuid väheneb ka AGV- de maksumus. Eelistada tasuks ühesuunalist suletud segmendiga vooluteed ja ühte tüüpi kaubaga liikumist mille juhtimine on tunduvalt lihtsam ning mis tekitab vähem liiklusummikuid ja kokkupõrke võimalusi. Samuti tuleb vähendada tühikäikude osakaalu optimaalse voolutee saavutamiseks. (Ganesharajah, 1998)

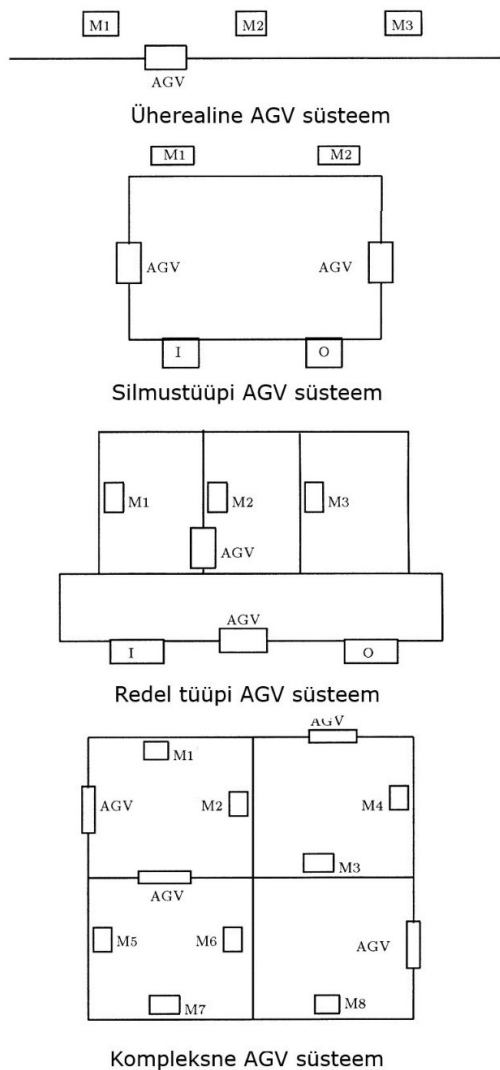
Toome eraldi välja ka AGV süsteemi utiliseerimise valemi mis on hea näitaja süsteemi kasutusefektiivsuse määramiseks (Chengbao, 2017):

$$AGV_u = \frac{t_t}{t_r} * 100\% \quad (1.12)$$

kus AGV_u – AGV utiliseerimine,

t_t – AGV käitlemise koguaeg,

t_r – AGV ülesannete täitmise aeg.



Joonis 1.12 AGV voolute tüübid. (Ganesharajah, 1998)

1.4 Automaatse identifitseerimise ja äratundmise tehnoloogia

Üks oluline osa ettevõtte materjalikäsitluse automatiseeritud korraldamiseks on automaatse tuvastamise ja kommunikatsiooni tehnoloogia mis tagab meile peaaegu veatu andmete kogumise töökohtades.

Automaatne materjalide tuvastussüsteem annab meile võimaluse reaalajas jälgida materjalide asukohta, kogust, päritolu, sihtkohta ja liikumise ajakava.

Automaatne sidesüsteemi kaudu saame aga teostada andmete paberivaba edastust. (Tomkins, 2010)

Kasutusel on erinevaid identifitseerimise ja äratundmise tehnoloogiad nagu masin nägemine, laserskännerid, raadiosagedustuvastuse lahendused ning erinevad magnetriba lahendused.

Kõige enamlevinud toote identifitseerimise süsteemiks on vötkoodiga (



UPC LINEAARKOOD



PDF417 REAKOOD



QR MAATRIKSKOOD

Joonis 1.13 lk 36) tuvastus mis koosneb triipkoodist, triipkoodi lugejast ja triipkoodi printerist.

Tegemist on ainulaadse riba ja tühikukujundite struktuuriga mille lugemisel skänneriga identifitseeritakse kaup. Lineaar kodeerimisel on andmete mahutavus piiratud. Reakoodid ja maatrikskoodid mahutavad oluliselt rohkem informatsiooni ja on suurema vigade kindlusega.



UPC LINEAARKOOD



PDF417 REAKOOD



QR MAATRIKSKOOD

Joonis 1.13 Enamlevinud vötkodeerimise näited. (Ringsberg, 2016)

Vötkoodi lugejaid on kahte tüüpi milleks on kontaktlugejad ja kontaktita lugejad ning kasutatavuse järgi eristatakse statsionaarseid, liikuva lugemispeaga ja portatiivsed lugejad. Vötkoodi lugemine toimub optilise seadmega kus seadme poolt suunatud valguskiir peegeldub objektilt tagasi fotosensorile. Eristatakse tehnoloogia järgi laserlugejaid ja pildilugejaid. Viimase puhul on tegemist uuema lahendusega kui selle ulatus on piiratud ja lugemiskaugus on kuni 60 cm. Laserlugejate kaugus võib olla üpris

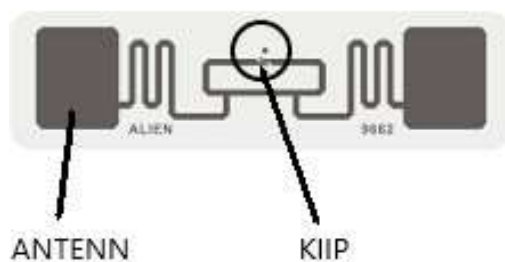
suur, ulatades 3 kuni 5 meetrini. Lugemisseadmed on tänapäeval võimelised täpselt lugema koodi ka kiirelt liikuva kauba puhul kus kiirused ulatuvad 300 m/min.

Raadiosagedustuvastuse lahenduste kasutamine on muutumas järjest atraktiivsemaks just toodete puhul kus toote kuju, arv ja muud omadused varieeruvad ning tuvastamiseks pole otsenähtavus nõutav. Samuti on selle tehnoloogia hind aastate jooksul langustrendis ja see annab võimaluse selle tehnoloogia laiemaks kasutuselevõtuks. (Duroc, 2018)

Rohkem on tuntust kogunud kontaktivaba lähi-väljatehnoloogia (NFC) ja raadiosagedustuvastus (RFID).

„RFID on automaatne identifitseerimise tehnoloogia kus objektide märgistamiseks ja andmete vastuvõtt toimub juhtmevabalt signaaliedastamise teel sildi ja antennide vahel, mis on ühendatud kesk serveriga“ (Arkan, 2013). RFID sildid jagunevad kolmeks kategooriasse milleks on passiivsed, poolpassiivsed ja aktiivsed sildid. Suurema levialaga on passivandurid mis on varustatud vooluallikaga ja saadava pidevalt signaali vastuvõtjatele ning mille tööraadius võib olla 20-100 m.

Passiivanduritel (Joonis 1.14 lk 37) sisemist toiteallikat ei ole ja tema tegevusraadius sõltub paljuski antenni konstruktsioonist ning võib ulatuda kuni 20 m samas muudab nende kasutase atraktiivseks andurite madal hind ja suhteliselt väikesed mõõtmed.



Joonis 1.14 RFID passiiv märgis. (Duroc, 2018)

Masinnägemise puhul kasutatakse tavaliselt kaameraid, et objekte ja koode pildistada ning saata need arvutisse töötlemiseks. Kaamerad on tänapäeval suhteliselt hea kvaliteedi ja suure lugemiskiirusega mis annab võimaluse neid väga erinevates kohtades kasutada. Samuti ei vaja need seadmed kontakti objekti või vöötkoodiga. Järjest rohkem kasutust leiab aga masinnägemise sidumine masinõppega mis annab nende

seadmetele väga laiad kasutusvõimalused. Näiteks toodete kvaliteedihindamiseks kus on vaja väga kiiret ja täpset toote analüüsi defektsete toodete eemaldamiseks tootmisliinilt.

1.5 AS CHEMI-PHARM ettevõtte ülevaade

AS CHEMI-PHARM on 1997 aastal asutatud Eesti ettevõttes arendab, valmistab ja turustab desinfektante, isikliku hügieeni vahendeid, puhastus- ja erihooldustooteid ning luksuskosmeetika sarja D'DIFFERENCE.

AS CHEMI-PHARM tootmine ja peakontor asub Eestis ning tütarettevõtted asuvad Lätis ja Singapuris.

Ettevõtte ekspordib oma toodangut 17-sse erinevasse riiki maailmas ning klientideks on meditsiinisektori asutused, toiduainetööstused, puhastusteenuseid pakkuvad firmad, lasteasutused ja koolid.

AS CHEMI-PHARM tootevalikus on rohkem kui 100 erinevat toodet nagu näiteks - pindade, instrumentide ja instrumentariumi desinfektandid, käte- ja naha antiseptika ning hooldusvahendid, puhastusvahendid, seebid ja eksklusiivkosmeetika.

Ettevõtte on oma töös alates 2001.aastast rakendanud ISO kvaliteedijuhtimissüsteeme ISO 9001 (toodete kavandamine ja tootmine), ISO 14001 (keskkonnajuhtimine), ISO 13485 (meditsiiniseadmete kavandamine ja tootmine). Enam kui kahekümnele meditsiiniseadmete puhastamiseks ja desinfitseerimiseks mõeldud tootele on omistatud CE-märk. (AS Chemi-Pharm koduleht 21.11.2019)

AS CHEMI_PHARM avas 2019 aastal uue 4500 m² tootmishoone Harju maakonnas Tännasillmas. Tootmishoone 4500 m² kogupinnast on tootmispinda 1200 m² lisaks kaks laopinda kokku 2000 m² ning 1300 m² on haldus ja kontoripinnad.

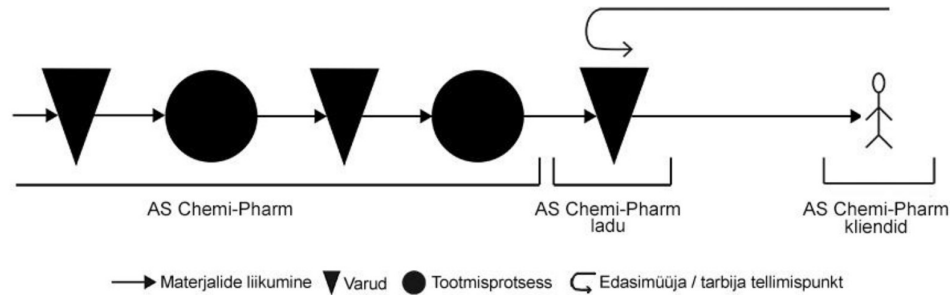
Ettevõtte prognoositav müügitulu 2019 aastaks on 6 miljonit eurot ja tootmiskaht 2 000 tonni. Ettevõttes töötab ligikaudu 50 inimest. Tootmine käib ettevõttes ühes vahetuses viis päeva nädalas ja vahetuse kestus on 8 tundi. (AS Chemi-Pharm sisedokumendid 21.11.2019). Ettevõtte struktuur on toodud lisas 14.

„Ettevõttes toimub tootmine spekulatsiooni põhjal ja logistika põhineb edasilükkamise strateegial, mis tähendab seda, et kõik tootmistegevused on tingitud varude kogusest ning sooritatakse enne logistilise tegevuse tegemist. Kõik logistilised tegevused toimuvad klientide tellimuste alusel. Antud strateegia põhineb asjaolul, et täielikult valminud toodete otsejaotus toimub ettevõtte laost (tootmisega samal territooriumil) lõpptarbijale. Antud strateegia kasutamist põhjendati sellega, et nii suureneb

õigeaegsete tarnete hulk, mis on antud valdkonnas väga oluline, lühenevad ja paranevad tarneajad ning vähenevad varudega seotud kulud.

Nimetatud strateegia puudusena toodi välja see, et väikeste tellimuste korral suurenevad kaubaveo kulud”.

Joonisel (Joonis 1.15 lk 39) on välja toodud AS CHEMI-PHARM tarneahela tootmise ja logistika strateegia. (Pedaru, 2014)



Joonis 1.15 AS CHEMI-PHARM tarneahela tootmise ja logistika strateegia (Pedaru, 2014)

AS CHEMI-PHARM uus 2019 aastal avatud tootmishoone ja kõik võimalikud logistikasuunad (märgitud nooltega) on näidatud joonisel (Joonis 1.16 lk 41).

Tootmisalas on 4 automaatset tootmisliini ja 5 manuaalset tootmisliini.

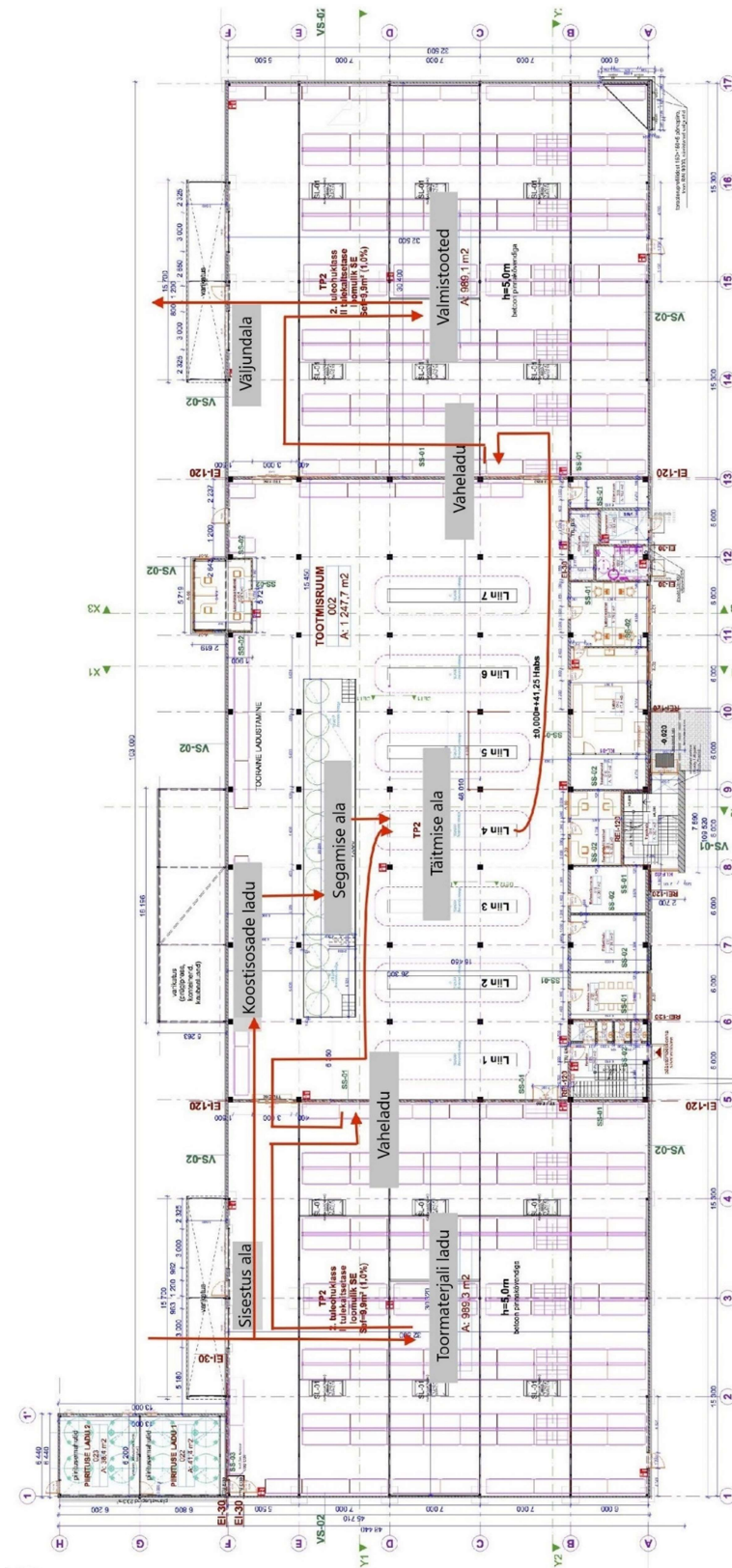
Materjalide (pudelid, korgid, kastid, etiketid, jne.) liigutamine ladude ja tootmisala vahel teostatakse täna euroalustega kas elektrilise vastukaalutõstukiga või käsikahveltõstukiga.

Ühe tootmisprotsessi kirjeldus koos logistika tegevustega:

1. Tootmisjuht sisestab uue tootevalmistamise ülesande ettevõtte ERP süsteemi, mis edastatakse toote segamistöölisele, laotöölisele;
2. Toote segamistöoline võtab ja lisab vastavalt retseptile koostisained (enamasti vedelikud) segamisreaktorisse (*mixing area*). Osa koostisainest transporditakse segamisreaktori juurde kanistritega ja teisi torustike abil mahutitest;
3. Kui kõik koostisained on lisatud segamisreaktorisse, siis pannakse segamisreaktor tööle. Segamine võib kesta umbes 12-24 tundi;
4. ERP saadab laotöölisele ülesande komplekteerida vajalikud materjalid toote villimiseks. Laotöoline paneb materjalid (pudelid, etiketid, korgid, pumbad, pappkastid, jne) ühele või mitmele euroalusele vastavalt tootmismahule. Komplekteeritud euroalus(ed) viiakse toormaterjalilao vahelattu. Selle käigus peab laotöoline määrama euroaluse uue asukoha ja kinnitama et vähemalt üks euroalus on komplekteeritud ERP-s.

Materjalide komplekteerimine tuleb teha toote segamise ajal, kuid mitte kõige alguses;

5. Toote segamistööline viib segatud toote näidisproovi laborisse, kui segamine on lõpetatud. Laboris kontrollitakse toote vastavust retseptile. Kui toode sobib siis antakse luba toote villimiseks pudelitesse ja pakendamiseks. Vastav käsk saadetakse liinitöötajatele;
6. ERP annab laotöölisele ülesandeks transportida komplekteeritud materjalid toormaterjalilao vahelaost tootmisliini segamisala juurde. Tootmisliini juurde jõudes paigutab laotöötaja euroaluse ratastega alusele. Seda tehakse ainult kui ratastega alus on olemas ja selle peale ei ole midagi. Peale seda läheb laotöötaja järele uuele euroalusele. Seda tehakse nii kaua kuni kõik vajalikud materjalid on transporditud tootmisliini juurde.
Kui tootmiseks vajalikud materjalid (vähemalt üks alus) on toodud tootmisliini juurde siis informeerib ERP liinitöölisele kohale jõudnud materjalide olemasolust. Luba tootmiseks antakse siis kui kõik vajalik toormaterjal (nii palju, et saab alustada tootmist) on tootmisliini juures olemas;
7. ERP peab jälgima tootmist, et ennustada millal võib tekkida vajadus uue komplekteeritud materjali transpordi jaoks. Kui selleks tekib vajadus, siis tuleb täita samme 4 ja 6 uuesti. Ka liinitööline peab saama sisestada uut materjali transpordi ülesande;
8. Kui kõik villitud ja pakitud tooted on paigutatud euroalusele (väike partii) või euroalus on täis, siis edastatakse laotöötajale liinitöölise poolt ülesanne transportida need valmistoodangulattu . Selle peale viib laotöötaja euroaluse koos pakendatud toodetega valmistoodangulaos olevasse vahelattu. Peale euroaluse maha panekut informeerib laotöötaja süsteemi (ERP) ülesande täitmise lõpetamisest;
9. ERP saadab laotöölisele ülesande transportida tooted euroalusel valmistoodangu-laos olevatele riiulitele. Laotööline võtab euroaluse vahelaost (asub valmistoodangulaos) ja viib selle riiulile. Peale riiulile panekut peab laotööline uuendama euroaluse asukohta ERP -ist. Siin tuleb kinnitada ka tootevalmistamise ülesande täitmist, kui viimane euroalus on viidud riiuli peale;
10. Tootmisest ülejäänud toormaterjalid (pudelid, etiketid, korgid, pumbad, pappkastid, jne) tuleb viia tagasi toormaterjalilattu. Selle ülesande väljastab liinitööline ERP süsteemi. Sellepeale võtab laotöötaja euroalused toormaterjaliga ja viib toormaterjalilao vahelattu. Seal komplekteerib laotööline materjalid ümber teistele euroalustele ja viib need riiulitesse tagasi ja sisestab ERP süsteemi.



Joonis 1.16 AS CHEMI-PHARM logistika skeem (AS Chemi-Pharm sisedokumendid 21.11.2019)

1.6 OÜ KULINAARIA ettevõtte ülevaade

KULINAARIA OÜ on 1999 aastal loodud toiduainetööstuse ettevõtte mis valmistab vastavalt tellija soovile valmistooteid ja töötleme toorainet, seda nii väikeses kui tööstuslikus mahus.

Ettevõtte tootevalikus on 6 suuremat tootegruppi millest suurimad on salatid ja valmistoit vähemal määral kondiitri ja pagaritooted, magustoit, peolauad ning võileivad. Kulinaaria OÜ tootmishoone asub Tallinnas Lasnamäel kus tootmispinda on kokku 3000 m² ja töötab ligikaudu 300 inimest. Ühes päevas väljub köögist üle 10 tonni toodangut, pühade ajal nagu jaanipäev või jõulud üle 14 tonni.

Tootmises on neli pakkeliini ja iga päevaselt on köögis korraga 300 erinevat toodet. (Kulinaaria OÜ koduleht 20.11.2019).

2020 aasta aprillis valmiv uus tootmishoone laiendus annab tootmispinna kogusuurseks 6500 m² ja kogupind koos kontori ja abiruumidega on 8000 m².

Vana tootmishoone renoveeritakse ja kogu tootmiskompleks valmib tervikuna 2020 aasta oktoobris.

Ettevõtte on planeerinud peale uue tootmishoone valmimist tõsta toodangu mahte olemas olevalt 10 000 tonnilt kuni 22-24 000 tonnini päevas kuid jättes personali (300) suuruse samaks. Lisaks soovitakse suurendada tootmise läbilaskevõimet tänase 3-4 päevast kuni 1-2 päevani toormaterjali sissetulekust valmistoodangu väljastamiseni. (Kulinaaria OÜ sisedokumendid 20.11.2019)

Ettevõtte suurimaks tellijaks on Selver kaupluste kett kokku 53 poega ning erinevad tanklaketid ja Tallinki laevad. Kõik logistikategevused toimuvad klientide tellimuse alusel.

Valmistoodete otsejaotus klientidele toimub ettevõtte valmistoodangu laost.

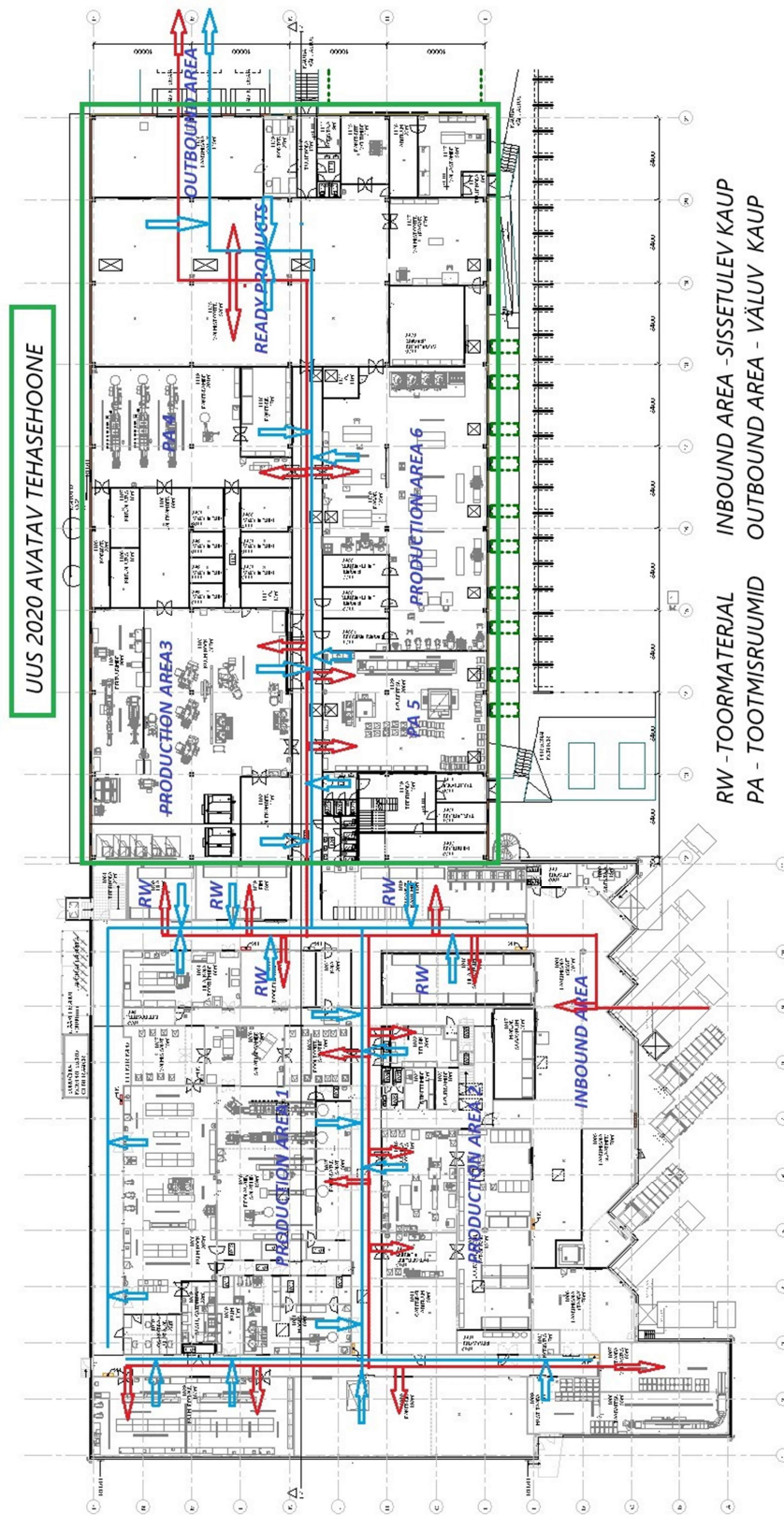
2020 aastal avatava uue tootmishoone logistikasuunad (märgitud nooltega) on näidatud joonisel (Joonis 1.17 lk 44).

Täna töötab ettevõtte logistikas ligikaudu 50 inimest kellest 6 töötab materjali sisendalal ja 20 materjali väljastusalal. Ülejäänud logistika töötajad tegelevad tootmis kohtadele vajalike materjalide transportimisega. Tootmisalas on vähemalt 10 automaatset tootmisliini ja vähemalt 40 käsitsi tootmiskohta.

Toormaterjali, pooltoodete ja valmistoodete veoks kasutatakse euroaluseid ja erinevaid plastikust kaste. Põhilised transpordivahendid on elektrilise vastukaalutõstukiga või käsikahveltõstukiga. Plastikastide puhul kasutatakse spetsiaalseid ratastega aluseid (mahutab 10 kasti tornis).Ettevõtte struktuur on toodud lisas 15.

Ühe tootmisprotsessi kirjeldus koos logistika tegevustega:

1. Tootmisjuht sisestab uue töökäsu ERP süsteemi, mis edastatakse toote valmistajatele, laotöölistele;
2. ERP saadab laotöölisele ülesande komplekteerida vajalikud materjalid toote valmistamiseks. Laotööline paneb materjalid (toiduained, maitseained, pakendid, pooltooted, jne.) ühele või mitmele euroalusele või kastidesse vastavalt tootmismahule. Komplekteeritud euroalus(ed), kastid viiakse toormaterjalilao vahelattu või otse toote valmistamise kohtadesse. Selle käigus peab laotööline määrama euroaluse uue asukoha ja kinnitama et euroalus, kastid on komplekteeritud ERP süsteemis;
3. ERP annab laotöötajale ülesandeks transportida komplekteeritud materjalid toormaterjalilao vahelaost tootmisliini või töökoha juurde. Tootmisliini juurde jõudes paigutab laotöötaja alused või kastid spetsiaalsetele alustele. Peale seda läheb laotöötaja järele uuele euroalusele või kastidele. Seda tehakse nii kaua kuni kõik vajalikud materjalid on transporditud tootmisliini või töökoha juurde;
4. Laotöötaja peab jälgima tootmist, et ennustada millal võib tekkida vajadus uue komplekteeritud materjali transpordi jaoks. Kui selleks tekib vajadus, siis tuleb täita sammu 3 uuesti;
5. Kui peale liini või tootmiskohta olevad valmis tooted on paigutatud alusele viib laotöötaja euroaluse või kastid koos toodetega valmistoodangulaos olevasse vahelattu. Peale euroaluse või kastide maha panekut informeerib laotöötaja ERP süsteemi ülesande täitmise lõpetamisest;
6. ERP saadab laotöölisele ülesande komplekteerida kastides olevad tooted valmistoodangu-laos olevatele euroalustele edasiseks transpordiks;
7. Tootmisest ülejäänud jäätmed viiakse jäätmealale laotöötaja poolt.



Joonis 1.17 KULINAARIA OÜ logistika skeem uues 2020 avatavas tehases. (Kulinaaria OÜ sisedokumendid 20.11.2019)

1.7 Tootmisandmete analüüsi valikud ja tehnikad

Tootmisandmete valikul lähtusime mõlema ettevõtte puhul automatiseeritud tootmisliinidest mis annavad suurima tootmismahu ja mida saame kasutada tootmisandmete reaalaajaliseks analüüsimiseks ning lisaks selgitame välja millised logistilised probleemid antud liinide teenindamisega kaasnevad.

Reaalajas tootmisseadmete jälgimissüsteeme pakuvad mitmed erineva ettevõtte ning ka sisu poolest on need tarkvarad mõnevõrra erinevad. Järgnevalt toome välja kolme pakkuja tarkvara funktsionaalsuste võrdlustabeli (Tabel 1 lk 45).

Tabel 1. Reaalajas monitooringusüsteemide võrdlus. (GlobalReader koduleht 25.12.2019), (Evocon koduleht 25.12.2019), (Mehaanika ja tööstustehnika instituut koduleht 28.11.2019)

Reaalajas monitooringu süsteemid			
Funktsionaalsus	Evocon	GlobalReader	DIMUSA
OEE analüüs	jah	jah	jah
Tükilugemine	jah	jah	jah
Vooluandur (seadme staatus)	ei	ei	jah
Seisakute tagasiside	jah	jah	jah
Analüütika moodul	jah	jah	jah
Seadmete hoolduskalender	ei	jah	jah
Hooldus väljakutsed	ei	jah	jah
Tootmise planeerija	ei	jah	jah
Sidusus ERP süsteemidega	jah	jah	jah
Töötaja tööaja registreerimine	ei	ei	jah
Elektroonilised töökäsud	ei	ei	jah
Töökäskude täitmise jälgimine	ei	ei	jah

Reaalajas monitooringut teostatakse Kulinaaria tootmises kolmel ja CHEMI-PHARM tootmises neljal tootmisliinil. Tootmisliinidele on paigaldatud vooluandurid tööseadme staatuse jälgimiseks ja optilised sensorid liini väljundpoolel tükilugemiseks. Tootmisliinid ise oma ülesehituselt on konveiertüüpi ja ühesuunalised mistõttu nendelt andmete tootmisandmete saamine ja analüüsimine lihtsalt teostatava. Jälgimise juures kasutatakse Taltech Mehaanika ja tööstustehnika instituudi poolt välja töötatud ennetava hoolduse ja reaalajas tootmise monitooringu süsteemi DIMUSA. Selle süsteemi eesmärgiks on tööpinkide ja seadmete koormatuse jälgimine reaalajas. Siit saame kuvada tootmisliinide tööajad, seisakud ja tootlikkuse valitud ajaperioodil. (Mehaanika ja tööstustehnika instituut koduleht 28.11.2019)

Andmete kogumine seadmetelt toimub automaatselt v.a seisakupõhjuste sisestamine ning töökäskude käivitamine ja tulemuste raporteerimine.

Antud uurimuse raames vaatleme ainult tootmisliinidelt saadud tükilugemise andmeid kaubavoogudest arusaamiseks ja logistika probleemide lahendamiseks.

Antud tarkvaraga mõõdame tootmisliinide OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) näitajaid.

OEE jagab seadme tootmisvõimsuse kolmeks erinevaks osaks mida saab mõõta. Nendeks osadeks on kasutatavus, tootlus ja kvaliteet. Need kolm näitajat aitavad meil hinnata tootmise tootlikust ja tõhusust. (Stamatis, (2011))

$$OEE = Kasutatavus \cdot Tootlus \cdot Kvaliteet \quad (1.13)$$

Availability Performance Quality

TEEP (*Total Effective Equipment Performance*) näitab seadmete täieliku efektiivsust võttes arvesse kalendri aega ehk siis maksimaalne aeg mis oleks saanud seadet kasutada. Kalendri ajaks loetakse 24 tundi ja 7 päeva nädalas.

$$TEEP = Toimivus \cdot Kasutatavus \cdot Tootlus \cdot Kvaliteet \quad (1.14)$$

Loading Availability Performance Quality

$$Toimivus = \text{Planeeritud aeg} / \text{Kalendri aeg} \quad (1.15)$$

Kasutatavus on protsent mis näitab suhet tööaja ja planeeritud tootmisaja vahel.

$$Kasutatavus = \text{Tööaeg} / \text{Planeeritud tootmisaeg} \quad (1.16)$$

Tootlus näitab suhet tegeliku toodangu koguse ja teoreetilise toodangu koguse vahel.

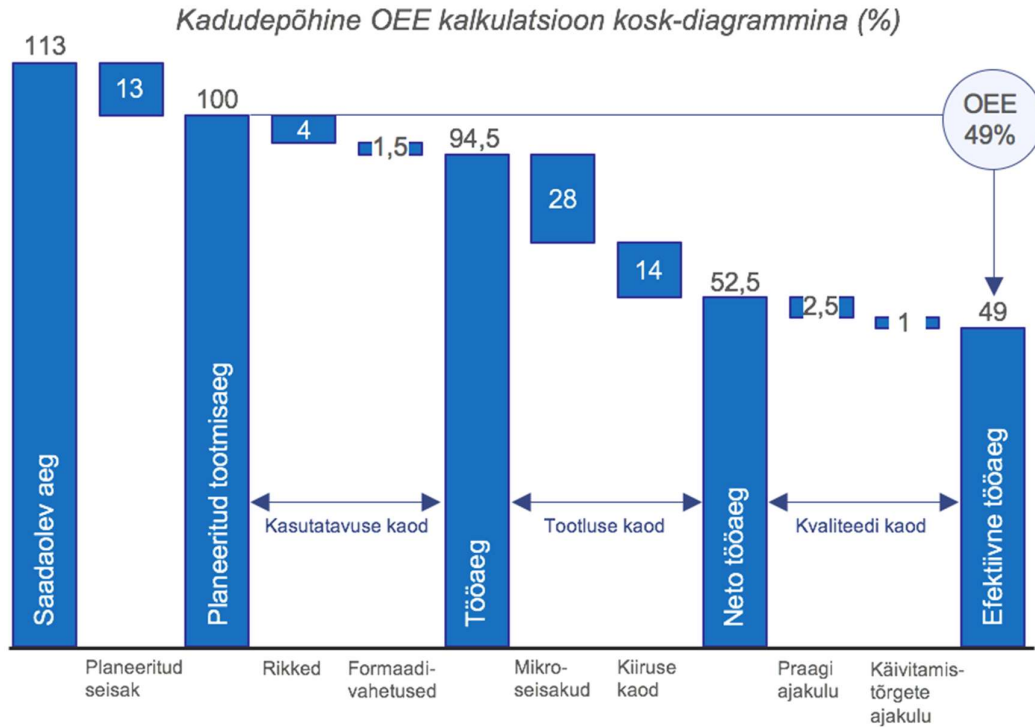
$$Tootlus = \text{Tegelik kogus} / \text{Teoreetiline kogus} \quad (1.17)$$

Kvaliteet näitab suhet kvaliteetselt toodetud koguse ja alustatud toodete koguse vahel.

$$Kvaliteet = \text{Kvaliteetse toodangu kogus} / \text{Alustatud toodang} \quad (1.18)$$

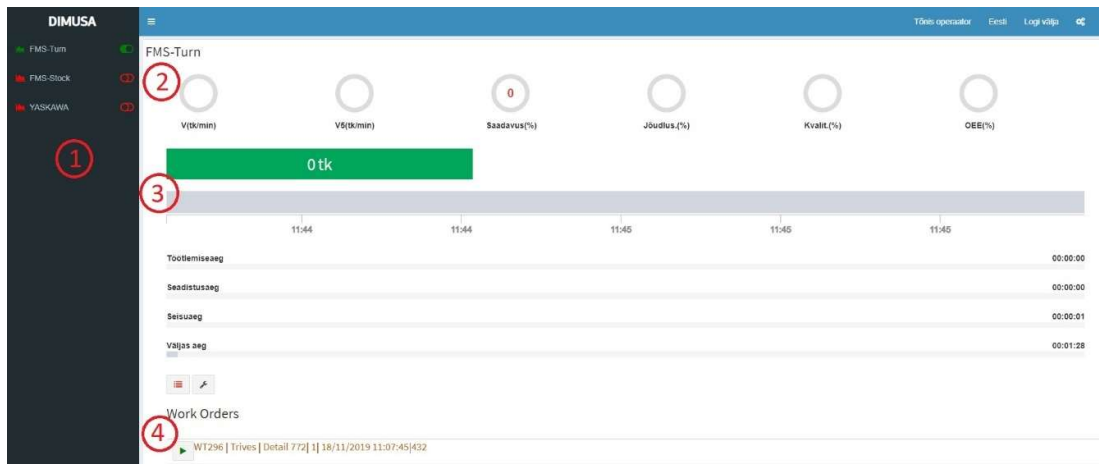
Nii OEE kui TEEP arvutamisel tuleb arvestada ka ajakadudega mis mõjutavad neid efektiivsuse näitajaid (Joonis 1.18 lk 47).

1. Kasutatavus – Seadmete ja masinate rikked, seadistusajad ja toodetelt üleminek ja seadme käivitusega kaasnevad ajakaod;
2. Tootlus – Tühikäigul töötamine, lühiajalised seisakud ja väiksem seadme tootmiskiirus;
3. Kvaliteet – Tootmisprotsessi vead ja seadmete käivitamisel tekkivad vead.



Joonis 1.18 Kadude põhine OEE kalkulatsioon kosk-diagrammina. (Lean meetodid ja terminid 09.12.2019)

Järgnevalt tutvume täpsemalt DIMUSA tarkvara operaatori vaatega ning toome välja tähtsamad võtmenäitajad. Tootmisliini operaatori vaade on toodud joonisel (Joonis 1.19 lk 47).



Joonis 1.19 DIMUSA operaatorivaade.

Operaatori vaade on jagatud kolmeks põhiosaks:

1. Tööseadme valik;
2. OEE võtmenäitajad (Joonis 1.20 lk 48);
3. Töölogi (Joonis 1.21 lk 48);

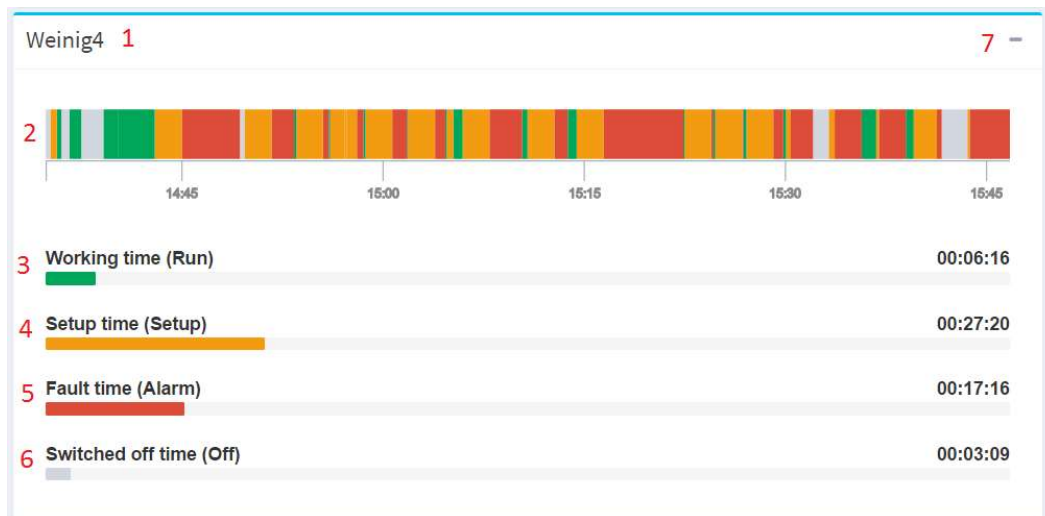
4. Elektroonilised töökäsud (töökäskude käivitamine ja tulemuste raporteerimine).



Joonis 1.20 OEE võtmenäitajad.

Võtmenäitajate osas on kuus välja mis näitavad järgnevaid väärtusi:

1. Näitab masina kiirust;
2. Näitab masina viimase viie minuti kiirust;
3. Näitab masina Kasutatavus/saadavust;
4. Näitab masina tootlikkust;
5. Näitab masina kvaliteeti;
6. Näitab masina üldist efektiivsust;
7. Näitab, kui palju detaile on antud ajahetkel tehtud;
8. Näitab, kui palju detaile on antud ajahetkel tehtud võrreldes töökäsus antud lõppkogusega (antud juhul on tehtud 0/0).



Joonis 1.21 Töölogi.

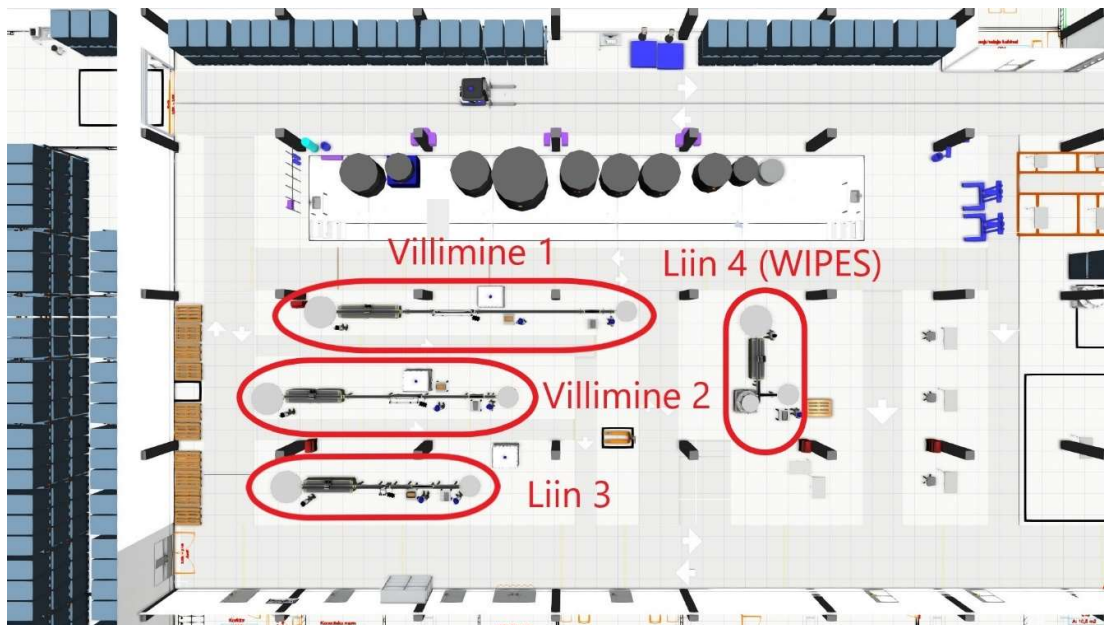
Töölogis näidatakse tootmiseseadme sündmusi ajas:

1. Masina nimi;

2. Graafiliselt kuvatud ajad, vastavalt: roheline on töö aeg, oranž on seadistamise aeg, punane on seisaku/vea aeg ja hall on masina väljalülitatud aeg;
3. Summaarne töötamise aeg;
4. Summaarne seadistamise aeg;
5. Summaarne seisaku/vea aeg;
6. Summaarne väljalülitatud olekus olev aeg;
7. Võimaldab vastava akna osaliselt varjatuks muuta.

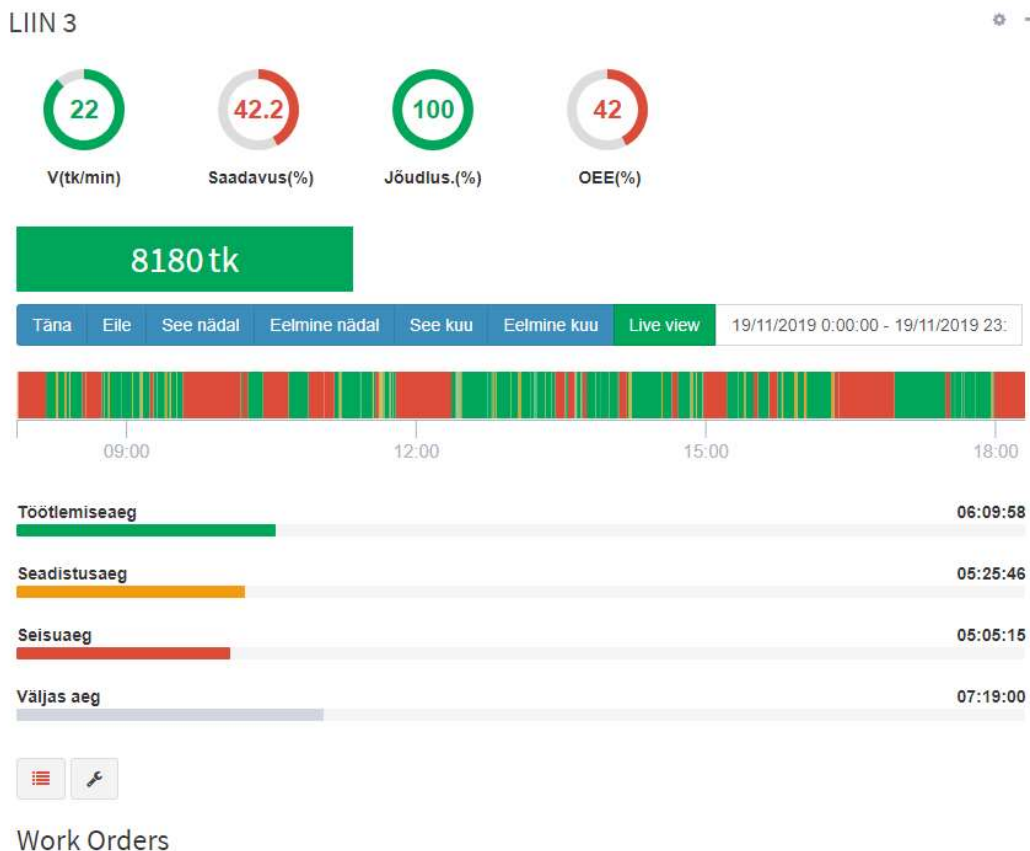
Tootmisandmete valikul võtame ajaühikuks ühe nädala kus on stabiilne tootmine ja tootmisliinidel ei esine suuremaid seisakuid (remont, hooldus jne.). Tabelid on toodud lisas 2 ja 3.

AS CHEMI-PHARM tootmises jälgime nelja tootmisliini ühe nädala (18.11-24.11.19) jooksul mis on mõeldud tühja taara täitmiseks erineva koostisega vedelikega, korkimiseks ja etiketamiseks. Tükilugemis andurid on paigaldatud liini lõpuosas olevale taara korgikeeramise seadme juurde ning mõõdame vooluanduritega seadme staatust (sisse lülitatud, väljalülitatud ja töörežiim) . Tootmisliinide asukoht ja paigutus tootmishoones on näidatud joonisel (Joonis 1.22 lk 49). Kõigil neljal tootmisliinil on liini alguses ja lõpus pöörlev puhverlaudad tootmisvoo ühtlustamiseks.



Joonis 1.22 CHEMI-PHARM tootmisliinide asetus tootmishoones.

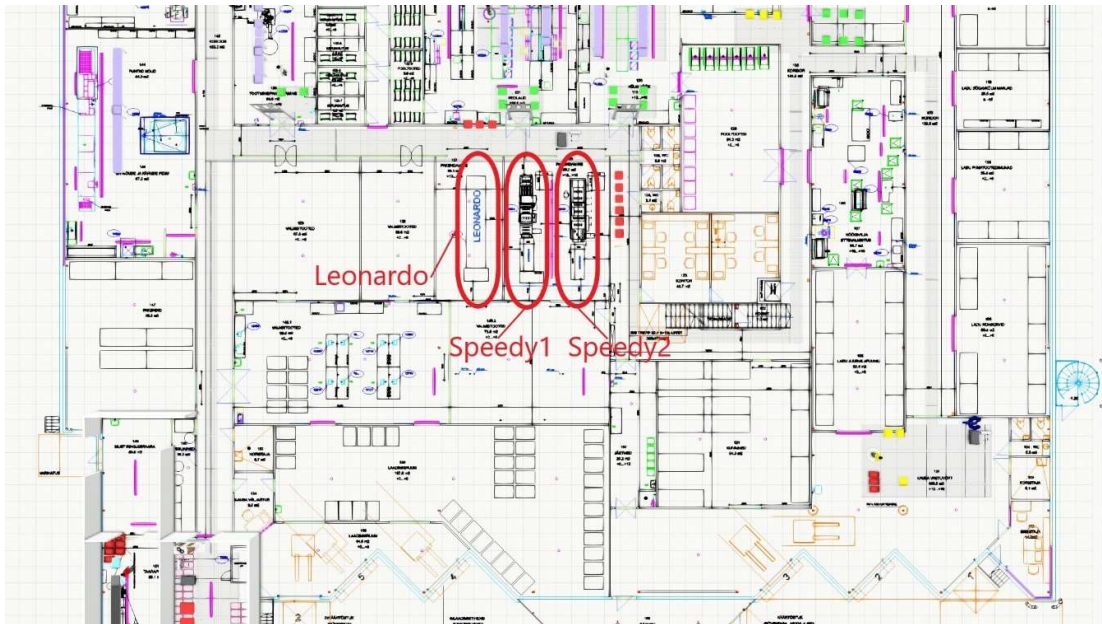
Tootmisandmed on välja toodud tabelis eraldi iga tootmisliini kohta (vt .lisa 1). Tootmisandmetest toome välja tootmisliini (LIIN 3) ühe päeva andmed (Joonis 1.23 lk 50). Graafiliselt kujutatud ajaskaalalt on näha, et toodetavate toodete tükid jaotuvad suhteliselt ühtlaselt vahetuses.



Joonis 1.23 CHEMI-PHARM Villimisliin 3 tootmisandmed 19.11.19.

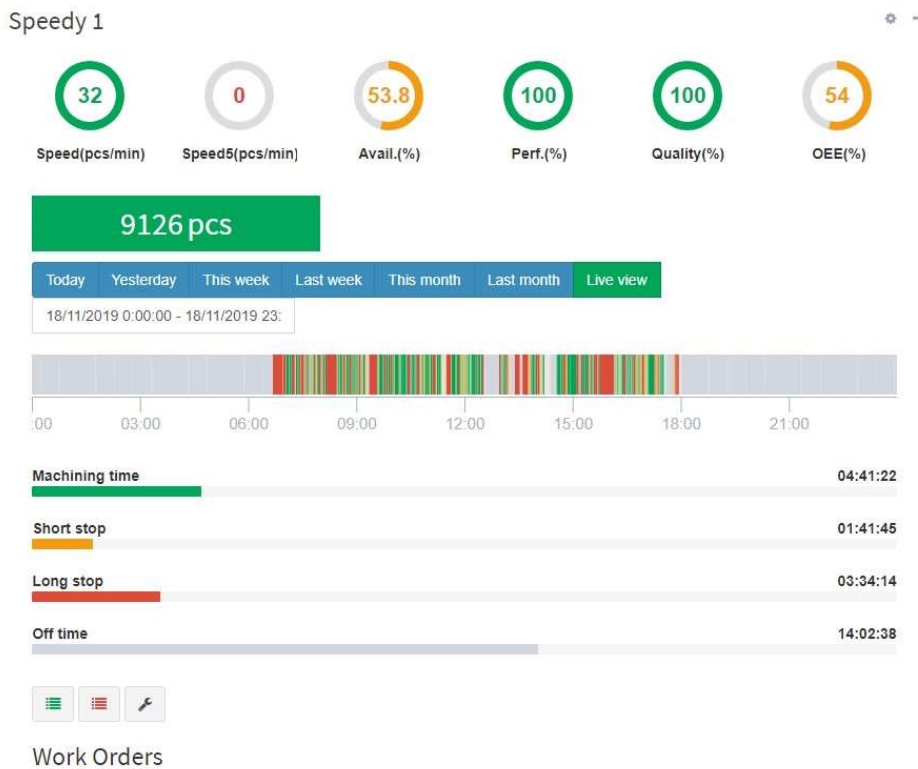
KULINAARIA OÜ tootmises jälgime kolme tootmisliini ühe nädala(18.11-24.11.19) jooksul mis on mõeldud toiduaine taara täitmiseks (pooltooted), pakendamiseks ja etikettimiseks.

Seadmetele on paigaldatud tükilugemis andurid liini lõpuosas oleva etiketi paigaldaja juurde ning mõõdame vooluanduritega seadme staatust (sisse lülitatud, väljalülitatud ja töörežiim). Tootmisliinide asukohad ettevõttes on näidatud joonisel (Joonis 1.24 lk 51).



Joonis 1.24 Kulinaaria tootmisliinide asetus tootmishoones.

Tootmisandmed on välja toodud tabelis eraldi iga tootmisliini kohta eraldi (vt. lisa 2). Tootmisandmetest toome välja tootmisliini (Speedy1) ühe päeva andmed (Joonis 1.24 lk 51).



Joonis 1.25 Kulinaaria OÜ tootmisliini Speedy1 tootmisandmed 18.11.19.

2. TOOTMISLOGISTIKA AUTOMATISEERIMINE

Teoreetilises osas kogutud materjalide põhjal saame koostada ettevõtte tootmislogistika automatiseerimise plaani ning teha valikud riistavara ja tarkvara valikuks ning simuleerida ja analüüsida saadud tulemusi olemasoleva lahendusega võrreldes.

Automaatse logistikalahenduse nõuded saame jagada kolme suuremasse rühma milleks on:

1. Tehnilised nõuded – transporditavad materjalid või kaubaalused, logistika automatiseerimise lahenduse nõuded, ettevõtte ehitise joonis, logistikalahenduse komponentide asetus tehase plaanil, kauba liikumisteed ja vahemaad, materjalivoo nõuded, koorma spetsifikatsioonid ja kaubaaluste suurus;
2. Riistavaralised nõuded – mobiilse roboti valik lähtuvalt kauba spetsifikatsioonist ehitise nõuetest lähtuvalt, millist suunamiseetodit tuleb liikurroboti juures kasutada, integratsioon olemasoleva laosüsteemiga, mitu sõidukit on vaja etteantud läbilaskevõime tagamiseks, automaatse identifitseerimise ja äratundmise komponentide valik, tootmisliinide kirjeldus ja lisa täiturseadmete vajadus (uste juhtimine);
3. Tarkvaralised nõuded – ettevõtte ERP süsteemi nõuded, marsruutimissüsteemi nõuded, integratsioon laosüsteemidega, integratsioon ettevõtte võrguseadmetega ning muud tarkvaralised lahendused andmete analüüsimiseks ja visualiseerimiseks.

2.1 Automatiseeritud logistikalahenduse tehnilised nõuded

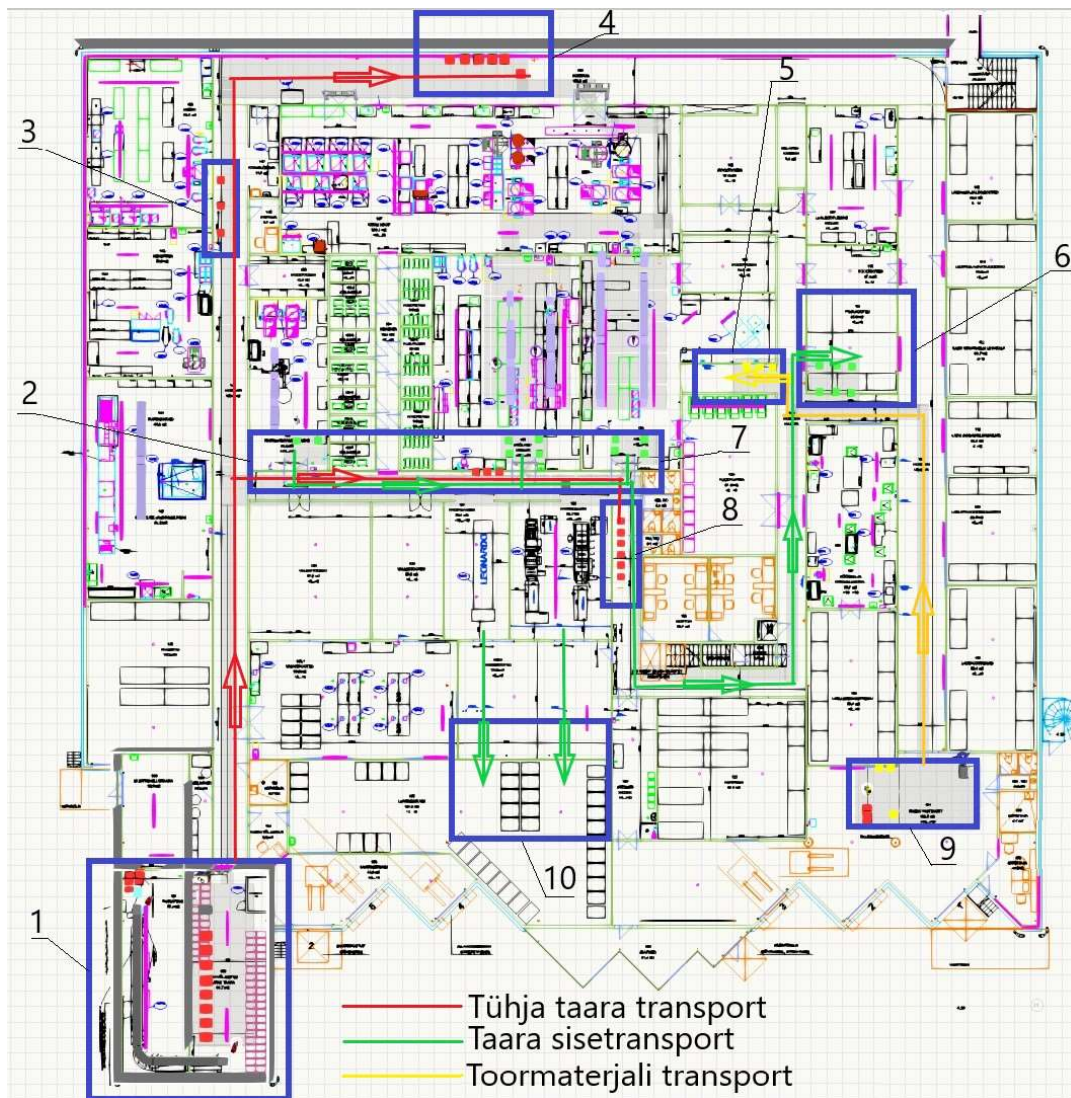
Käesoleva alapeatüki eesmärk on määratleda KULINAARIA OÜ ja CHEMI-PHARM AS automaatse logistikalahenduse spetsifikatsioonid, et määratleda täpsemalt ära konkreetse lahenduse nõuded.

Järgnevalt määrame SHA materjali käitlemise metoodikat kasutades liikumiste analüüsi (Joonis 1.9 lk 25) mõlemas ettevõttes.

Kulinaaria OÜ on toiduaine tööstuses tegelev tootmisettevõtte, mille põhitegevusalaks on valmistoodete nagu salatid, võileivad, kondiitri- ja pagaritooted magustoidud tootmine. Tehases on ligikaudu 3000 m² üldpinda ja ettevõttes töötab umbes 300 töötajat. Ettevõtte töötab 7 päeva nädalas ühe vahetusega mille ühe vahetuse kestus on 8 tundi. Tootmiskaht päevas on 10 -14 tonni olenevalt hooajast.

Ettevõtte soov on kasutusele võtta automatiseeritud sõidukid taarakastide (Tabel 5 lk 58) järgnevate transpordiga seotud ülesannete täitmiseks:

1. Tühjade taara kastide transport pesuosakonnast töökohtade ja vaheladude juurde;
2. Kaubaga taarakastide sisetransport töökohtadelt valmistoodangu lattu;
3. Toormaterjali transport toormaterjali laost toomise vahelattu.



Joonis 2.2.1. Kulinaaria OÜ logistika sõlmede asukohad ja transporditeed. Kirjeldused on toodud tabelis (Tabel 2 lk 54). (Kulinaaria OÜ sisedokumendid 20.11.2019)

Automatiseeritud logistikaga seotud asukohtade nimetused koos protsessi kirjeldusega on toodud tabelis (.

Tabel 2 lk 53).

Tabel 2. KULINAARIA logistika asukohtade tabel koos protsessi kirjeldusega.

Nimetus	Kirjeldus	Protsessi kirjeldus
KAK-1	Tootmise Pesuosakond	Taarakastid, mis väljuvad pesumasinast transporditakse laotöötaja poolt ratastel alusega (10 kasti alusel) koridorides asuvatesse vaheladudesse .
KAK-2	Vaheladu (tootmine)	Liinitöötaja võtab ratastel alusel olevad kastid ja viib tootmisliini juurde. Laotöötaja võtab kaubaga taarakastid ja transpordib need valmistoodangu lattu.
KAK-3	Vaheladu (tootmine)	Liinitöötaja võtab ratastel alusel olevad kastid ja viib tootmisliini juurde.
KAK-4	Vaheladu (tootmine)	Liinitöötaja võtab ratastel alusel olevad kastid ja viib tootmisliini juurde.
KAK-5	Vaheladu (toormaterjalid)	Liinitöötaja võtab ratastel alusel olevad kastid ja viib tootmisliini juurde.
KAK-6	Valmistoodangu ladu	Laotöötaja ladustab kaubad ja sorteerib vastavalt tööülesandele.
KAK-7	Töökohad	Liinitöötaja transpordib ratastel olevad kastid vahelaost töökohta ja tagasi vahelattu või valmistoodangulattu.
KAK-8	Vaheladu (tootmine)	Liinitöötaja võtab ratastel alusel olevad kastid ja viib tootmisliini juurde.
KAK-9	Toormaterjaliladu	Toormaterjalid on asetatud kastidesse ja transporditakse kahveltüstukiga laotöötaja poolt vahelattu (toormaterjalid).
KAK-10	Valmistoodanguladu (salatid)	Laotöötaja ladustab kaubad ja sorteerib vastavalt tööülesandele.

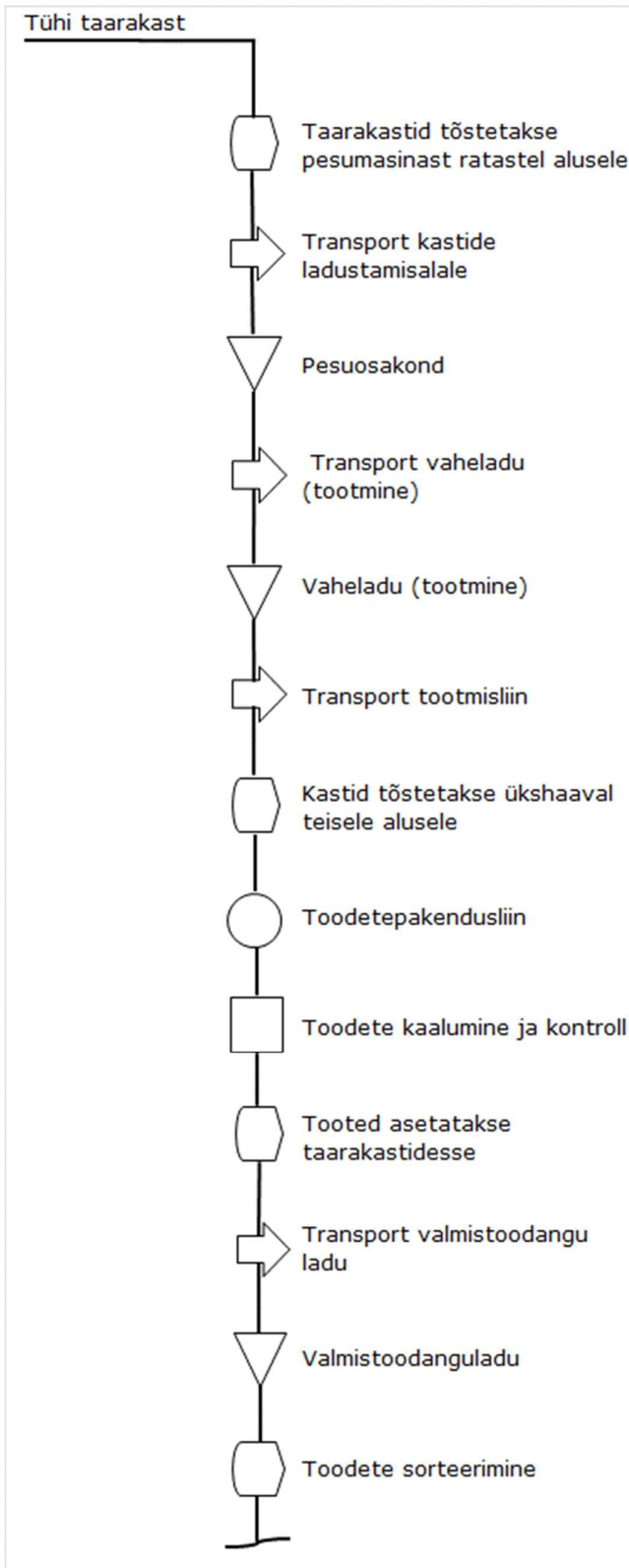
Järgnevalt toome välja põhilised taarakastidega seotud marsruudid ja distantsid (Tabel 3 lk 54).

Tabel 3. KULINAARIA liikumiste marsruut ja distants.

#	Marsruut	Teepikkus
----------	-----------------	------------------

KMD-1	Tühi taara (10 taarakasti, 15 kg) koos ratastel alusega transporditakse pesuosakonnast (KAK-1) tootmise vahelattu (KAK-2)	47 m
KMD-2	Tühi taara (10 taarakasti, 15 kg) koos ratastel alusega transporditakse pesuosakonnast (KAK-1) tootmise vahelattu (KAK-3).	48 m
KMD-3	Tühi taara (10 taarakasti, 15 kg) koos ratastel alusega transporditakse pesuosakonnast (KAK-1) tootmise vahelattu (KAK-4).	78 m
KMD-4	Tühi taara (10 taarakasti, 15 kg) koos ratastel alusega transporditakse pesuosakonnast (KAK-1) tootmise vahelattu (KAK-8).	65 m
KMD-5	Tühi taara (10 taarakasti, 15 kg) koos ratastel alusega transporditakse tootmise vahelaost (KAK-2) tootmisliinile (KAK-7).	10 m
KMD-6	Taarakastid valmistoodanguga (10 taarakasti, maks. 200 kg) koos ratastel alusega transporditakse tootmisliinilt (KAK-7) valmistoodangu lattu (KAK-6).	35 m
KMD-7	Taarakastid valmistoodanguga (10 taarakasti, maks. 200 kg) koos ratastel alusega transporditakse tootmisliinilt (KAK-7) valmistoodangu lattu (KAK-10).	11 m
KMD-8	Taarakastid toormaterjaliga (10 taarakasti, maks. 200 kg) transporditakse kahvelkäruga toormaterjalilaost (KAK-9) toormaterjali vahelattu (KAK-5).	42 m

Saadud andmete põhjal koostame protsessi diagrammi kasutades SHA meetodit. Jooniselt (Joonis 2.2.1 lk 53) ning tabelite (Tabel 2 lk 54 ja Tabel 3 lk 54) põhjal saame eristada kahte protsessi kus esimene on tühjade taarakastide vedu tootmise vaheladudesse ja sealt edasi läbi tootmisliinide valmistoodangu lattu ning teiseks eristuvaks protsessiks on toormaterjali vedu. Toome siin välja siit esimese pikema kulgemisega protsessi kus on näha tühjade taarakastide liikumine (Joonis 2.2.2 lk 56).




Joonis 2.2.2 Kulinaaria taarakastide liikumise protsessi diagramm.

Toomislogistika mõistes on ettevõtete suurimaks probleemiks järjest väiksemad ja erinevate tootepartiidega klienditellimused ja nende efektiivne täitmine tootmises. See nõuab järjest täpsemat ressursside kasutamise jälgimist ehk tarneahela digitaliseerimist ja automatiseeritud tootmissüsteemide kasutusele võtmist. Igapäevaselt ringleb tootmises 4000 – 6000 taarakasti (Tabel 5 lk 53) mille logistika korraldamine ja liikumiste ülevaate saamine on ettevõtte jaoks üks prioriteetsemaid ülesandeid lähiaastatel. Uue tootmishoone osa valmimisega ja tootmismahu kasvuga aga suureneb veelgi taarakastide hulk toomises ulatudes kogusteni kuni 15 000 ühikuni päevas. Alahinnata ei saa ka järjest suurenevat tööjõu puudust logistikas just lihtsamate tööde tegemisel nagu toodete transportimine ettevõtte siseselt. Ettevõtte toomislogistika korraldamisega seotud valupunktid ja nende täitmise eesmärgid on toodud tabelis (Tabel 4 lk 57).

Tabel 4. KULINAARIA toomislogistika eesmärgid.

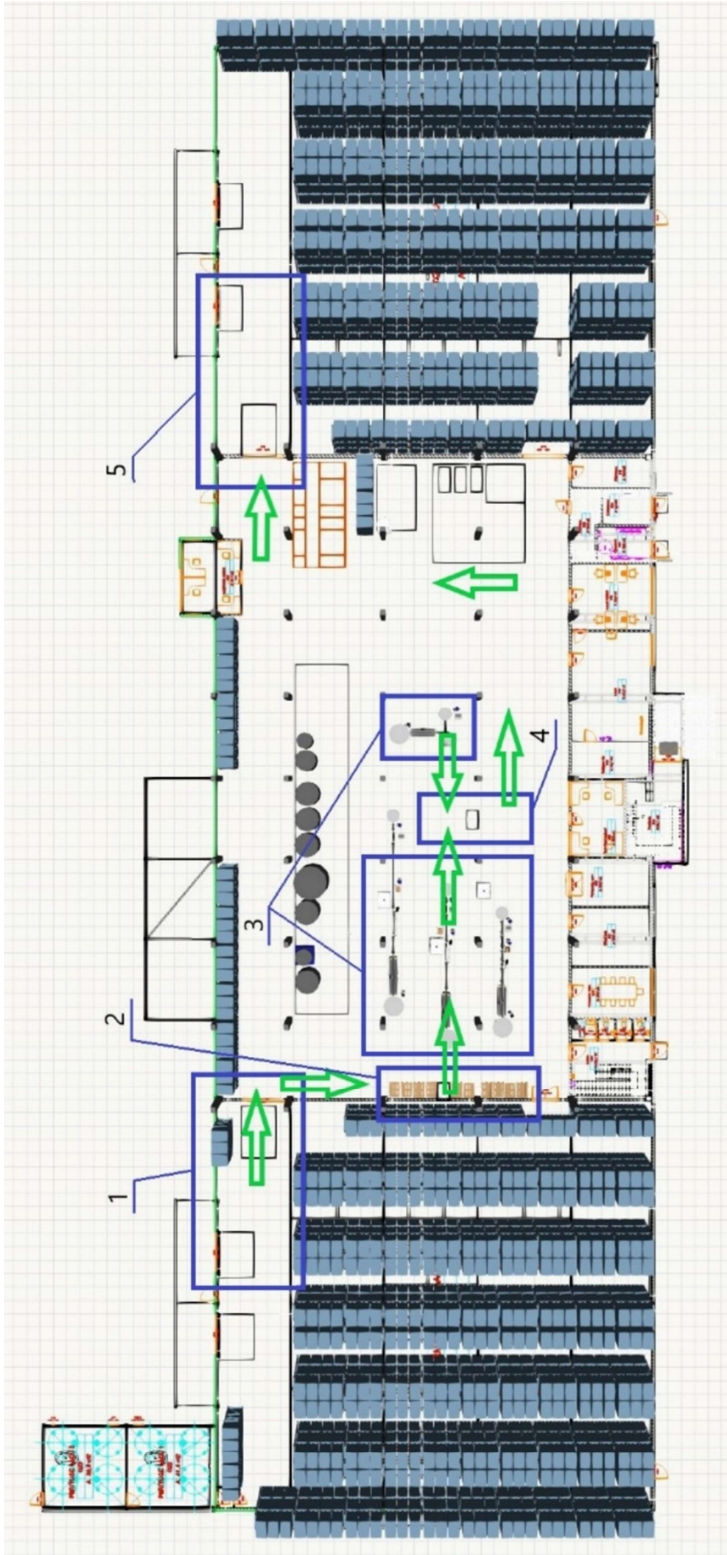
#	Eesmärgi kirjeldus
KE-1	Puudub kontroll taarakastide asukohtadest tootmises. See omakorda tekitab olukorra kus tootmispinda kasutatakse ebaratsionaalselt. Lisaks on taarakastid hoiualad vahekäikudes ja koridorides mis segavad liikumist ja piiravad nähtavust. Eesmärk on visualiseerida kaupade asetsemine tehase plaanil.
KE-2	Euroaluste ja kastid ummistavad tootmisliinide ümbruse ja sellega seatakse ohtu töökoha ohutus. Eesmärk on kaubaalused tarnida täpselt õigel ajal tootmisliini juurde.
KE-3	Tooreaine ei saabu tootmisliinide juurde õigeaegselt (pudelikaela efekt). Eesmärk on saavutada ajastatud kaupade liikumine vastavalt tootmisvõimsusele.
KE-4	Puudub ülevaade kuidas kaubad tootmises liiguvad. Saavutada kontroll kauba liikumiste üle ja protsessid digitaliseerida.
KE-5	Kui tootmisliini juures on mingi varustuse probleem siis töötaja ei saa ilma töökohalt lahkumata protsessi mõjutada. Eesmärk on liinitöötajale luua võimalus protsessi sekkuda ja teha muudatusi.
KE-6	Tootmisjuht, laotöötaja jne. ei näe kui toomisliini juures juhtub mingi varustuse probleem ja ei saa seetõttu protsessi sekkuda. Eesmärk on tootmisjuhile ja laotöötajale luua võimalus protsessi sekkuda ja teha muudatusi. Protsesside visualiseerimine.

Tabel 5. Koorma spetsifikatsioon.

Koorma spetsifikatsioon	
Veoühiku tüüp	Kast
Mõõdud	600 × 400 × 150 (mm)
Kandevõime	20 kg (maks. 10 kg tooteid)
Foto	

CHEMI-PHARM AS on keemiatööstuse valdkonnas tegutsev tootmisettevõtte mis valmistab, arendab ja turustab desinfitseerijaid ning puhastus- ja erihooldustooteid. Ettevõtte tootmishoone kogupindala on 4500 m² milles töötab ligikaudu 50 töötajat. Tootmine käib ettevõttes ühes vahetuses viis päeva nädalas ja vahetuse kestus on 8 tundi. Prognoositav toomismaht aastas on 2000 tonni.

Ettevõtte on planeerinud automatiseerida sisemise tootmislogistika protsessid ja kasutusele võtta automatiseeritud sõidukid euroaluste transportülesannete teostamiseks. Uus 2019 aastal valminud tehase projekteerimisel on arvestatud automatiseeritud sõidukite kasutuselevõtuga ning tagab põranda koormustaluvuse, lae ja vahikäikude minimaalsed mõõdud on piisavad, sammaste vahe on võimalikult suur ja puuduvad astmed põrandal.



Joonis 2.3. CHEMI-PHARM logistika sõlmede asukohad ja transporditeed. Kirjeldused on toodud tabelis (Tabel 6 lk 60). (AS Chemi-Pharm sisedokumendid 21.11.2019)

Automatiseeritud logistikaga seotud asukohtade nimetused koos protsessi kirjeldusega on toodud tabelis (Tabel 6 lk 60).

Tabel 6. CHEMI-PHARM logistika asukohtade tabel koos protsessi kirjeldusega.

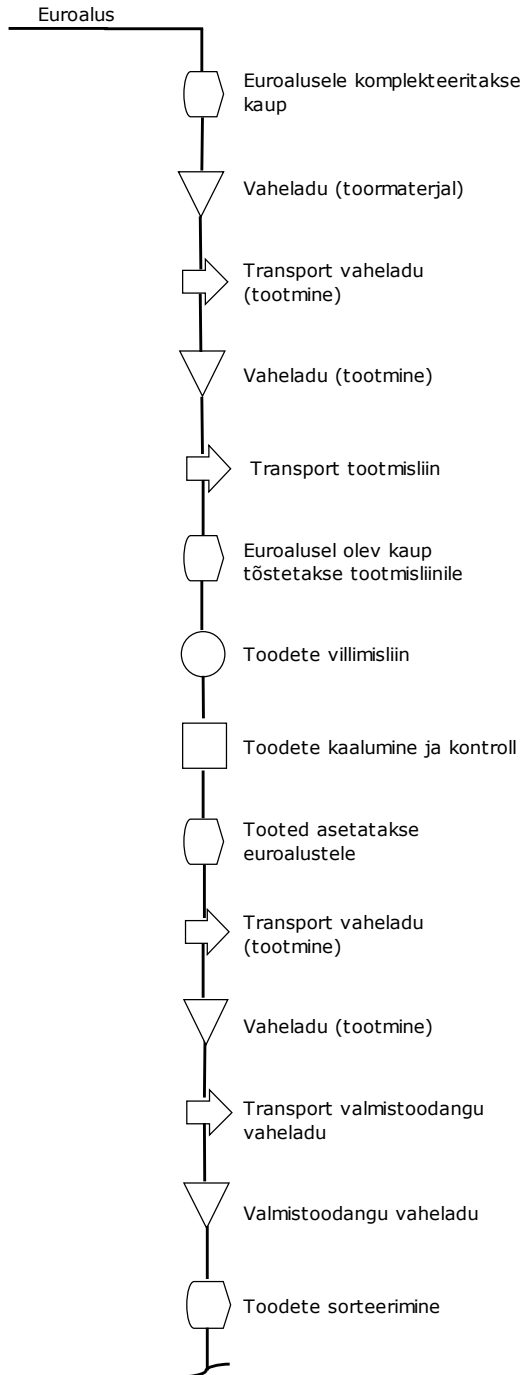
Nimetus	Kirjeldus	Protsessi kirjeldus
CAK-1	Vaheladu (toormaterjal)	Tootmaterjali ettevalmistuse ala tootmise jaoks. Laotöötaja transpordib kahveltõstukiga euroaluse koos toormaterjaliga tootmise vahelattu.
CAK-2	Vaheladu (tootmine)	Liinitöötaja tõstab käsitõstukiga euroaluse vahelaost tootmisliini juurde.
CAK-3	Tootmisliin	Liinitöötaja tõstab kauba euroaluselt konveierliini peale ning maha (liini alguses ja lõpus). Euroalusel valmistoodangu transpordib käsitõstukiga tootmise vahelattu
CAK-4	Vaheladu (tootmine)	Laotöötaja transpordib euroalusel valmistoodangu kahveltõstukiga valmistoodangu vahelattu
CAK-5	Vaheladu (valmistoodang)	Laotöötaja selekteerib kauba ja asetab valmistoodangu riulitesse

Järgnevalt toome välja põhilised taarakastidega seotud marsruudid ja distantsid (Tabel 7 lk 60).

Tabel 7. CHEMI-PHARM liikumiste marsruut ja distants.

#	Marsruut ja distants	Teepikkus
CMD-1	Euroalus transporditakse toormaterjali vahelaost (CAK-1) tootmise vahelattu (CAK-2).	20 m
CMD-2	Euroalus transporditakse tootmise vahelaost (CAK-2) tootmisliinile (CAK-3)	6 m
CMD-3	Euroalused valmiskaubaga transporditakse tootmisliinide juurest (CAK-3) tootmise vahelattu (CAK-4)	6 m
CMD-4	Euroalused valmiskaubaga viiakse tootmise vahelaost (CAK-4) valmistoodangu vahelattu (CAK-5).	60 m

Saadud andmete põhjal koostame protsessi voodiagrammi kasutades SHA meetodit. Jooniselt (Joonis 2.3 lk 59) ja tabelitest (Tabel 6 lk 60 ja Tabel 7 lk 60) protsessi kirjeldusest saab järeldada, et kõik neli tootmisliini kasutavad sama euroaluste liikumise protsessi diagrammi (Joonis 2.4 lk 61).



Joonis 2.4 CHEMI-PHARM euroaluste liikumise protsessi diagramm.

Toomislogistika valukohaks on järjest väiksemad ja erinevate tootepartiidega klienditellimused ja nende efektiivne täitmine tootmises. Tootmistellimused võivad teinekord muutuda ka ühe tööpäeva siseselt ja see omakorda seab pinge alla kogu planeerimise ja tootmise sisemise materjalide tarnimise, see aga omakorda nõuab järjest täpsemat ressursside kasutamise jälgimist ehk tarneahela digitaliseerimist ja automatiseeritud tootmissüsteemide kasutusele võtmist.

Ettevõtte eesmärgid tootmislogistika probleemide lahendamiseks on toodud tabelis (Tabel 8 lk 62)

Tabel 8. CHEMI-PHARM tootmislogistika eesmärgid.

#	Eesmärgi kirjeldus
CE-1	Ettevõttel puudub piisav kontroll euroaluste asukohtadest tootmises. See omakorda tekitab olukorra kus tootmispinda kasutatakse ebaratsionaalselt. Eesmärk on visualiseerida kaupade asetsemine tehase plaanil.
CE-2	Euroalused ummistavad tootmisliinide ümbruse ja sellega seatakse ohtu töökoha ohutus. Eesmärk on kaubaalused tarnida täpselt õigel ajal tootmisliini juurde.
CE-3	Tooreaine ei saabu tootmisliinide juurde õigeaegselt (pudelikaela efekt). Eesmärk on saavutada ajastatud kaupade liikumine vastavalt tootmisvõimsusele.
CE-4	Ülevaade kaupade liikumisest tootmises puudulik. Saavutada kontroll kauba liikumiste üle ja protsessid digitaliseerida.
CE-5	Kui tootmisliini juures on mingi varustuse probleem siis töötaja ei saa ilma töökohalt lahkumata protsessi mõjutada. Eesmärk on liinitöötajale luua võimalus protsessi sekkuda ja teha muudatusi.
CE-6	Tootmisjuht, laotöötaja jne. ei näe kui toomisliini juures juhtub mingi varustuse probleem ja ei saa seetõttu protsessi sekkuda. Eesmärk on tootmisjuhile ja laotöötajale luua võimalus protsessi sekkuda ja teha muudatusi. Protsesside visualiseerimine.

Tabel 9. Koorma spetsifikatsioon.

Koorma spetsifikatsioon	
Veoühiku tüüp	Euroalus
Mõõdud	1200 × 800 × 144 (mm)
Kandevõime	1600 kg (maks. 1000 kg tooteid)



2.2 Automatiseeritud logistikalahenduse riistvaralised nõuded

Automaatjuhtimisega sõidukite (AGV) süsteemidest on saamas oluline osa väikeste ja keskmise suuruste tootmisettevõtte nii laos kui ka tootmissisese logistika korraldamisel. AGV -d on akutoitel ja juhita tsentraalse arvutisüsteemiga juhitud ja täpselt adresseeritavad sõidukid mis kasutavad liikumiseks kas traadiga juhtteid või magnetilist ja optilist juhtimise lahendusi. Peamised eelised täna tuntud, tõstukite, kärude ja fikseeritud materjali teisaldusseadmete nagu konveierite ees on suur paindlikus, ruumi kasutamine, ohutus ja üldised madalamad tegevusukulud. AGV süsteemid on väga paindlikud just siis kui on vaja muuta materjalide vooluteed või näiteks muutustele reageerimiseks saab vastavalt süsteemi prioriteetidele dünaamiliselt ümber suunata. (Ganesharajah, 1998) Valik AGV kahveltõstukeid ja alusplatvorme on toodud lisa (Lisa 6). AGV valikute tegemiseks lähtume teoorias toodud valikute kriteeriumitest ja tehnilistes nõuetes toodud transpordi ja kauba spetsifikatsioonist. Järgnevalt toome välja tabeli kus näitame ära AGV valikuks nõutavad tingimused Kulinaaria ja CHEMI-PHARM tootmiselogistika korraldamiseks (Tabel 10 lk 64).

Tabel 10. AGV süsteemi nõuded.

Tehniline nõue	AGV spetsifikatsioon	
	KULINAARIA	CHEMI- PHARM
Laius (mm)	> 400	> 800
Pikkus (mm)	> 600	> 1200
Kõrgus (mm)	< 500	< 2000
Pöörderaadius (mm)	< 600	< 2000
Töstejõud (kg)	> 200	> 1000
Töstekõrgus (mm)	> 50	> 50
Kiirus (m/min)	> 1,1	> 1,1
Tööaeg (h)	> 8	> 8
Tüüp (kahvel/platvorm)	platvorm	kahvel/platvorm

Lisaks eelpoolnimetatud tingimustele tuleb ka arvestada AGV süsteemi valiku juures põranda hõõrdeteguriga, astmetega põrandapinnal, maksimaalne lubatud põrandakalle, ruumi temperatuuriga ja õhuniiskusega, elektromagnetilised segajad, Wifi valmidus ettevõttes, laadimispunkti asukoht ja vajalik võimsus. Oluline osa on ka AGV suunamiseetodite valikul ja kauba maha- ja peale laadimissüsteemidel. Tänapäevased AGV süsteemid on varustatud 360 kraadi laser-skaneerimis süsteemidega ja kaameratega mis annab suure ohutuse (Masinate ohutus, 2015) taseme. Läbi kaamerate saame kasutada lisaks masinnägemise lahendusi koos masinõppe lahendustega kus viimasena nimetatud masinnägemise puhul toome näitena laadimisaluste asukohtade tuvastamise või lisaks saame teostada kauba identifitseerimist QR - koodi kasutades. 360 kraadi laserskaneerimise süsteem võimaldab aga koostada lihtsalt ettevõtte ruumidest 2D kaardi mille põhjal saame väga paindlikult ja kiirelt luua maha- ja peale laadimisekohti ning kaubavoogude marsruute. Lisaks annab see võimaluse ka reaajaliselt jälgida kaardil AGV asukohta ja hetke staatust.

Maha- ja peale laadimissüsteemide valik on suhteliselt lai ja seetõttu on vajalik platvorm tüüpi AGV juures mõelda millist neist oleks kõige otstarbekam kasutada. Kasutatakse põhiliselt kas statsioonarseid, kaasaliikuvaid või järel-veetavaid aluseid kauba transpordiks (Joonis 2.5 lk 65). Lisaks on saadaval erineva lahendused ka robotmanipulaatorite paigalduseks ning konveierlullide paigalduseks AGV kerele. Siinkohal tuleb arvestada asjaoluga, et erinevad lisaseadmed mis paigaldatakse võivad oluliselt pikendada kauba maha- ja peale laadimise aega.



Joonis 2.5 Platvorm AGV tüübid. (MIR koduleht 02.01.2020), (Robotnik koduleht 03.01.2020)

AGV valikute juures peab arvestama, et oleks võimalus AGV juhtsüsteem integreerida ettevõtte ERP süsteemiga, et tagada materjalide ja tööülesannete sidusus ning ühilduvus ehitise elektrooniliste seadmetega (automaatsed ukсед, liftid, laoriulid jms.).

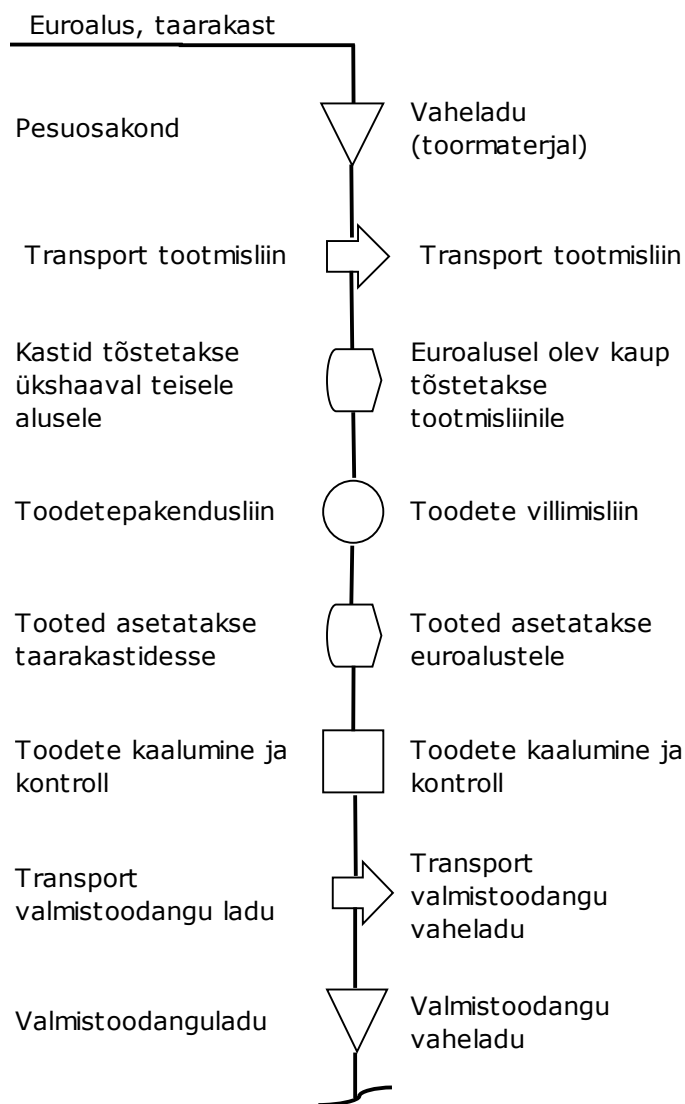
Automaatsed identifitseerimise ja äratundmise seadmete valikul peame lähtuma protsessi voogdiagrammidest ning tuvastama sõlmed mis on olulised automatiseerimise seisukohalt ning mis võimalused annab see omakorda tootmise tsükliaga vähendada. Voogdiagrammidelt (Joonis 2.2.2 lk 56 ja Joonis 2.4 lk 61) on arusaadav, et täpne ja reaajas tootmise ja logistika jälgimine ja kontrollimine võimaldab meil vähendada kauba transpordile, töö ettevalmistuse ja lõpetamisele ning kauba kontrollimisele kuluvat aega. Samuti on voogdiagrammidelt näha, et mõlema ettevõtte tootmislogistika protsess on omavahel sisu osas sarnane. Optimeerime antud protsesse ja ühildame mõlemad voogdiagrammid ühtseks tootmislogistika lahenduse protsessiks. Automatiseeritud logistikalahenduse voogdiagramm mis sobib mõlemale ettevõttele on näha joonisel Joonis 2.6 lk 66). Kaubaalused liiguvad otse tootmisliinidele mis vähendab maha- ja peale laadimise asukohti ning tagab kaupade ühtlase voolutee. Toodete kaalumise ja kontrollimise protsessis kasutame sensorit kaupade ja aluste kaalumiseks ning RFID tehnoloogiat kaupade ja aluste identifitseerimiseks.

Järgnevalt toome välja sensorite valiku ja kasutus otstarbe:

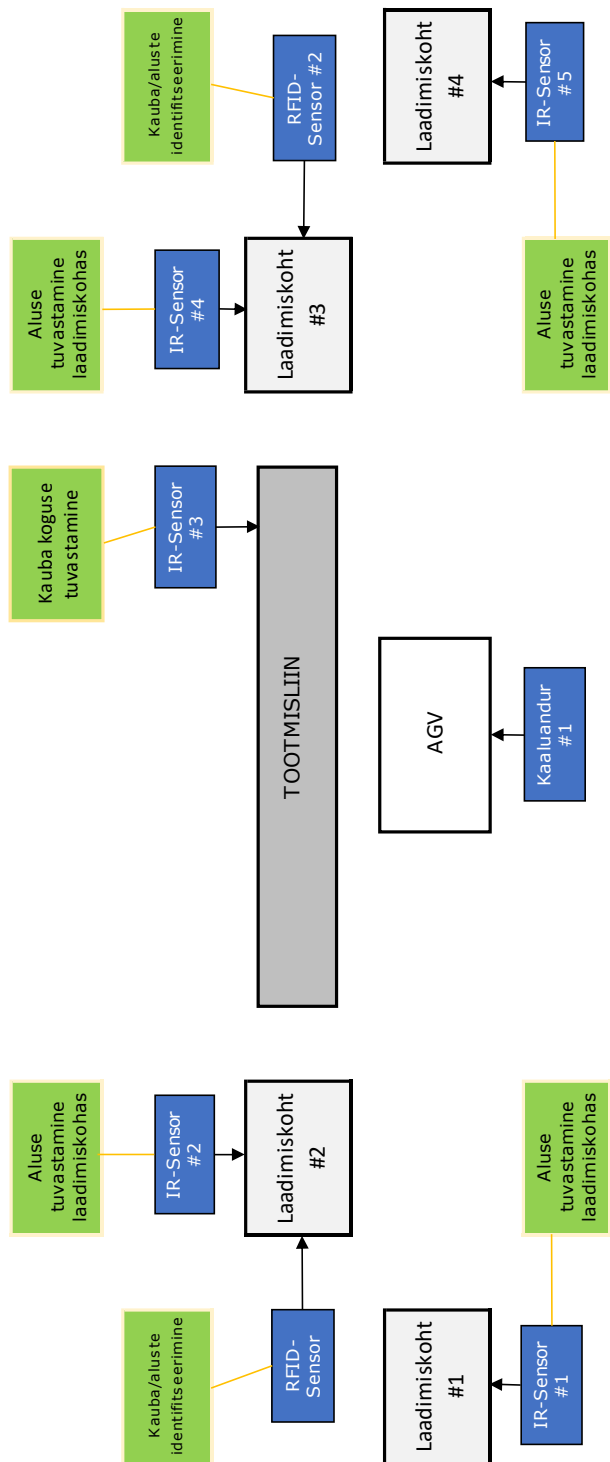
1. IR-sensor (laadimiskoht) – AGV süsteemi jaoks maha- ja peale laadimiskohtadel olevate aluste tuvastamiseks. Teades laadimiskohtade täpset asukohta tehase kaardil saame lisaks täpselt hinnata materjalide voo liikumist ja seeläbi hinnata töövoo toimivust;
2. IR-sensor (tootmisliin) – DIMUSA reaajas jälgimissüsteemi komponent tükilugemise teostamiseks. AGV süsteemi jaoks oluline voolu intensiivsuse hindamiseks;

3. RFID-sensor – toodete ja kaubaaluste automaatseks identifitseerimiseks. Saame kokku viia kaubad, alused ja töökäsud ning koos kaaluanduriga saame paralleelselt teostada kvaliteedi kontrolli;
4. Kaaluandur- kaupade ja aluste kaalumiseks ning kvaliteedikontrolli teostamiseks. Lisaks saab teostada ka tuvastada kas kaup on AGV -e peale asetatud. Ohutu liikumiskiiruse valikuks.

Vastavalt automatiseeritud protsessiga voogdiagrammile koostame sensorite paigalduse põhimõtteskeemi (Joonis 2.7 lk 67).




Joonis 2.6 Automatiseeritud tootmislogistika ühtlustatud voogdiagramm.



Joonis 2.7 Sensorite paigalduse põhimõtteskeem.

Toome välja mõningad AGV süsteemid ja sensorite tehnilised spetsifikatsioonid.

Tabel 11. Robotnik RB-2 spetsifikatsioon.


AGV andmed	
ID	AGV #1
Tootja	ROBOTNIK
Mudel	RB-2-Base
Mõõdud	l x p x k 623x980x390 (mm)
Pilt	
Tüüp	Platvorm AGV
Laadimissuund	Pealt
Kandevõime	200 kg
Aku kestus	10 h
Kiirus	1,7 m/s
Sensorid	Odomeeter, aku laetus tase, 3D kaamera, 360° lidar
Täiturseadmed	Tõste mehhanism, rattaajamid
Juhtsüsteem	Open ROS

Tabel 12. MiR1000 spetsifikatsioon.

AGV andmed	
ID	AGV #2
Tootja	Mobile Industrial Robots A/S
Mudel	MiR1000
Mõõdud	l x p x k 920x1352x407 (mm)



Pilt	
Tüüp	Platvorm AGV
Laadimissuund	Pealt
Kandevõime	1000 kg
Aku kestus	8 h
Kiirus	1,2 m/s
Sensorid	Odomeeter, aku laetus tase, 3D kaamera, 360° lidar
Täiturseadmed	Tõste mehhanism, rattaajamid
Juhtsüsteem	MiRFleet software

Tabel 13. MiRHook100 spetsifikatsioon.


AGV andmed	
ID	AGV #3
Tootja	Mobile Industrial Robots A/S
Mudel	MiRHook100
Mõõdud	l x p x k 580 x 1180-1275 x 550-900 (manipulaator)
Pilt	
Tüüp	Platvorm AGV, Pukseeriv AGV
Laadimissuund	Pealt/pukseeriv
Kandevõime	100 kg pealt / 300kg pukseerimisel
Aku kestus	8-10 h

Sensorid	Odomeeter, aku laetus tase, 3D kaamera, 360° lidar
Täiturseadmed	konks mehhanism, rattaajamid
Juhtsüsteem	MiRFleet software

Tabel 14. Tööstuslik Rasperry Pi 3+ moodul.


Sensori spetsifikatsioon	
ID	RP #1
Tootja	Revolution PI
Mudel	RevPi Core 3 + IO Module
Mõõdud	l x p x s 96 x 22,5 x 110,5 (1 moodul)
Pilt	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>RevPi Core 3</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Digital I/O Module</p>  </div> </div>
Tüüp	Linux mini kompuuter koos PLC laiendusmooduliga (RevPi DIO)
Tööpinge	24V
Väline liidestus	Ethernet, PLC, USB

Tabel 15. IR-sensori spetsifikatsioon.

Sensori spetsifikatsioon	
ID	IR-Sensor #1
Tootja	IDECC
Mark	SA1E-XP1C 24VDC
Mõõdud	l x p x k 31,5 x 19,5 x 10,8 (mm)
Pilt	

Tüüp	Tuvastamine
Sensori ulatus	< 2 m
Tööpinge	12-24VDC
Reageerimise aeg	500 mikrosek.


Tabel 16. IR-sensori spetsifikatsioon.

Sensori spetsifikatsioon	
ID	Kaaluandur #1
Tootja	VETEK
Mudel	202WA-200kg
Mõõdud	p x l x k 63,5 x 63,5 x 8 (mm)
Picture	
Tüüp	Koormus
Ühik	kg
Koormus	< 200 kg
Tööpinge	10 V

Mõlema ettevõtte tootmise ja ladude vahikäikudes kasutatakse elektriagamitega tõsteuksi mis jäävad AGV- de süsteemi opereerimise aladesse ja seetõttu vajavad need uksed eraldi võrgust juhitud täiturmehhanismi (Tabel 17 lk 71). Täiturmehhanismid on ühendatud AGV juhtsüsteemiga ning automaatselt avanevad vajadusel. Oluline on AGV süsteemi valikul kindlaks teha kas see võimalus uste, liftide jms. süsteemide juhtimiseks on olemas.

Tabel 17. SIEMENS PLC kontrolleri.

Täiturmehhanismi spetsifikatsioon	
ID	#1
Tootja	Siemens
Mudel	LOGO! 12/24RCE
Mõõdud	p x l x k 90 x 71,5 x 60 (mm)

Pilt	
Tüüp	PLC (<i>programmeeritav loogikakontroller</i>)
Tööpinge	12/24V
Väljundid/sisendid	4/8

2.3 Automatiseeritud logistikalahenduse tarkvaralised nõuded

Tarkade logistikasüsteemidega pideva arenguga muutub paljudes tööstusvaldkondades üha populaarsemaks AGV masinapargi kasutamine logistika ülesannete täitmisel kuid mitme AGV süsteemiga on ka mitmeid probleeme nagu ressursside täpne eraldamine, konfliktid ning ummikseisud töökohtade teenindamisel. Suhteliselt keeruline on planeerida AGV – de jaoks kõige optimaalsemat sõidurada nii, et ei tekiks põrkumisi ja konfliktseid situatsioone seda nii inimeste kui ka masinate vahel.

Tänapäeval toodetavate AGV süsteemide puhul kasutatakse tavaliselt navigatsiooni tehnoloogiat kus autonoomse navigeerimise rakendamiseks antakse ette juhised liikumiseks ja erinevate ülesannete teostamiseks ning alles seejärel suunatakse AGV etteantud ülesannet täitma. Lihtne kasutada ja sobib 1-2 AGV kasutamisel.

Kõige uuemaks arenevaks tehnoloogiaks on süsteemi planeerimise tehnoloogia mis oma olemuselt on keerukas intelligentne AGV lähetuse kontrolli süsteem mis kasutab logistiliste otsuste tegemiseks reaajas nii tarkvaralisi kui ka riistvaralisi lahendusi. Kasutatakse suurema AGV masinapargi korral. (Carrie, 1992)

Selline süsteem koosneb tavaliselt kesk serverist koos AGV haldamissüsteemiga ning seob omavahel läbi võrguühenduse (Wifi, kaabelvõrk) ettevõtte tarkvararakendused nagu WMS, ERP, MES ja 3D visualiseerimise tarkvara riistvaraliste lahendustega nagu inimene-masin liides (HMI), sensorid, PLC kontrollid ja AGV masinapargi.

Mitme AGV- a süsteemiarhitektuur jaguneb tavaliselt kolmeks (Chengbao, 2017):

1. Tsentraliseeritud juhtimine – AGV- d kasutavad globaalset teavet ja puudub suhtlus AGV- de vahel. Tagab optimaalse juhtimissüsteemi kuid ülemine juhtimissüsteem vajab palju ressursse ja seetõttu on koormav kesk-serverile;
2. Hajutatud juhtimine- Iga AGV on agent ning teeb enda otsuseid ise suheldes teiste AGV -a. Tagab süsteemi paindlikkuse, mastaapsuse ja rikkekindluse kuid ei taga optimaalset juhtimist;
3. Hübriidjuhtimine – kasutab mõlema eelneva süsteemi eeliseid mistõttu suudab täita ülesandeid iseseisvalt, aga ka vastavalt ülemiselt juhtimissüsteemilt saadud korraldusi. Täidab ülesandeid ühiselt ja kohaneb keskkonnaga.

Üheks selliseks hübriidjuhtimise süsteemiks on OPIL (*Open Platform for Innovations in Logistics*) mille keskkonnas saab tõhusalt juurutada AGV süsteeme läbi IoT platvormi ja 3D virtualiseerimise (Visual Components). OPIL tagab valmisühenduse seadmetega nagu mobiilsed robotid, AGV – d, kahveltõstukid, töötajad ja andurid aga ka ettevõtte IT- struktuuri nagu laohaldus- ja ERP süsteemid. OPIL ja 3D-tehase simulatsiooni kasutades on võimalik simuleerida ettevõtte logistika ja tootmisprotsesse ning seeläbi uuendusprotsesse kiiremaks ja lihtsamaks muuta. OPIL on avatud lähtekoodiga platvorm mistõttu toetab see tarkvara, riistvara ja muude avatud lähtekoodiga raamistike kohandamist. Avatud lähtekoodiga lähenemisviis vähendab ühe teenusepakkuja sõltuvust ja suurendab konkreetsest ärivajadusest lähtuvat kohanemisvõimet. (L4MS koduleht 27.12.2019)

OPIL tarkvarakomponentide raamistik on jagatud kolme põhirüma:

1. Üldised komponendid – Komponentid mis vastutavad kogu logistilise protsessi juhtimise eest;
2. Liidesed – OPIL vahetarkvara mis on vajalik raamistiku komponentide vaheliseks suhtluseks kui ka teiste liidestega ühendamiseks;
3. Juhtumipõhised komponendid – neid komponente saab kohandada vastavalt ettevõtte vajadusele kui need on kooskõlas etteantud nõuetele.

OPIL struktuur on toodud lisas 16 ning koosneb kolmest kihist.

1. IoT sõlmede kiht – Agendisõlmede kiht mis seob OPIL arhitektuuri füüsilise maailmaga. Need moodulid suhtlevad küberfüüsikalise vahetarkvara kihi 2 läbi tarkvarasüsteemide kihiga 3. 1. kiht koosneb kolmest sõlmest;
 - Robot Agent Node (RAN) – roboti agendi sõlm mis põhineb ROS tarkvaral ja tegeleb füüsiliste osalejatega logistika valdkonnas. Jaguneb kaheks millest üks osa tegeleb manipuleeritavate kaupadega ehk nende kaupade peale- ja mahalaadimise eest, teine aga liikuvate kaupadega mis tegeleb nende liigutamisega ühest punktist teise. Robotagendil on kommunikatsiooni- ja sõnumisidefunktsioon blokk mis seob OPIL

vahevara ja robotagendi sisemise kommunikatsiooni infrastruktuuri. Kohalik abstraktsiooni kiht võimaldab süsteemi configureerida näiteks kas robotagent on liikuv või manipuleeritav esimesel juhul telgede arv ning teisel juhul kinemaatika kirjeldus. Lokaalne täitmiskiht tegeleb määratu ülesannete tõlgendamise, kaardistamisega ja nende automaatse täitmisega. Riistvara abstraktsiooni kiht töötleb roboti tegeliku kinemaatikast või dünaamikast saadud andmeid ja seob need kohaliku abstraktsiooni kihiga;

- Human Agent Node (HAN) – inimene agent sõlm võimaldab süsteemile sisendeid anda ja selle kaudu teavet vastu võtta;
- Sensor Agent Node (SAN) – sensor agent sõlm kogub reaalaajalist infot tootmisest läbi erinevate tööstuslike sensorite ja seda infot jagatakse teistele OPIL kihtidele kommunikatsiooni- ja sõnumiside funktsionaalse bloki kaudu .

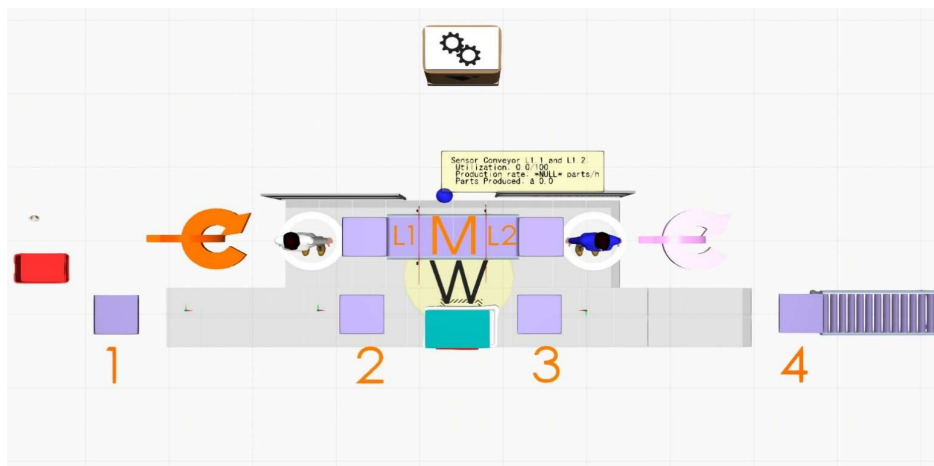
2. Küberfüüsikalise vahetarkvara kiht - Küberfüüsiline vahetarkvara kiht mis töötleb sõnumeid või tõlgib need oma suhtlus- / sõnumiside alammodulite abil sobivasse vormingusse erinevate OPIL komponentide vahel sidudes juurde ka ettevõtte moodulid või kolmandate osapoolte lisamoodulid. 2. kiht koosneb neljast sõlmest;

- Konteksti haldamine – võimaldab vahetada kontekstis teavet OPIL osade vahel ning välisosade vahel nagu ettevõtte rakendused ja 3D modelleerimise tarkvada. Samuti saab neid andmeid reaajas analüüsida ning koheselt reageerida muutuvate tingimustega (Context Broker). Lisaks on eelpoolneimetatud moodulile lisatud teadmiste põhine moodul (CEP) mis võimaldab tuvastada kontekstis esinevaid mustreid ja lähtuvalt sellest teatud toimingute käivitamist või mõne häire situatsioonile reageerimiseks;
- Taustprogrammi seadmehaldus ja protokolliaadapter – ühendab IoT sõlmede kihi OPIL platvormiga kus tõlgitakse interneti-spetsiifilised protokollid kontekstiteabe protokollideks;
- Teenuste integreerimine läbi ettevõtte võrgu – see komponent annab lõppkasutajale võimaluse ettevõtte andmed siduda OPIL platvormiga nagu näiteks töökäsed ja sellega seotud ülesannete mõisted;
- Pilveteenusrakendus HMI – saab läbi erinevate vidinate luua ühtseid liitrakendusi OPIL tarkvarasüsteemide kihiga;

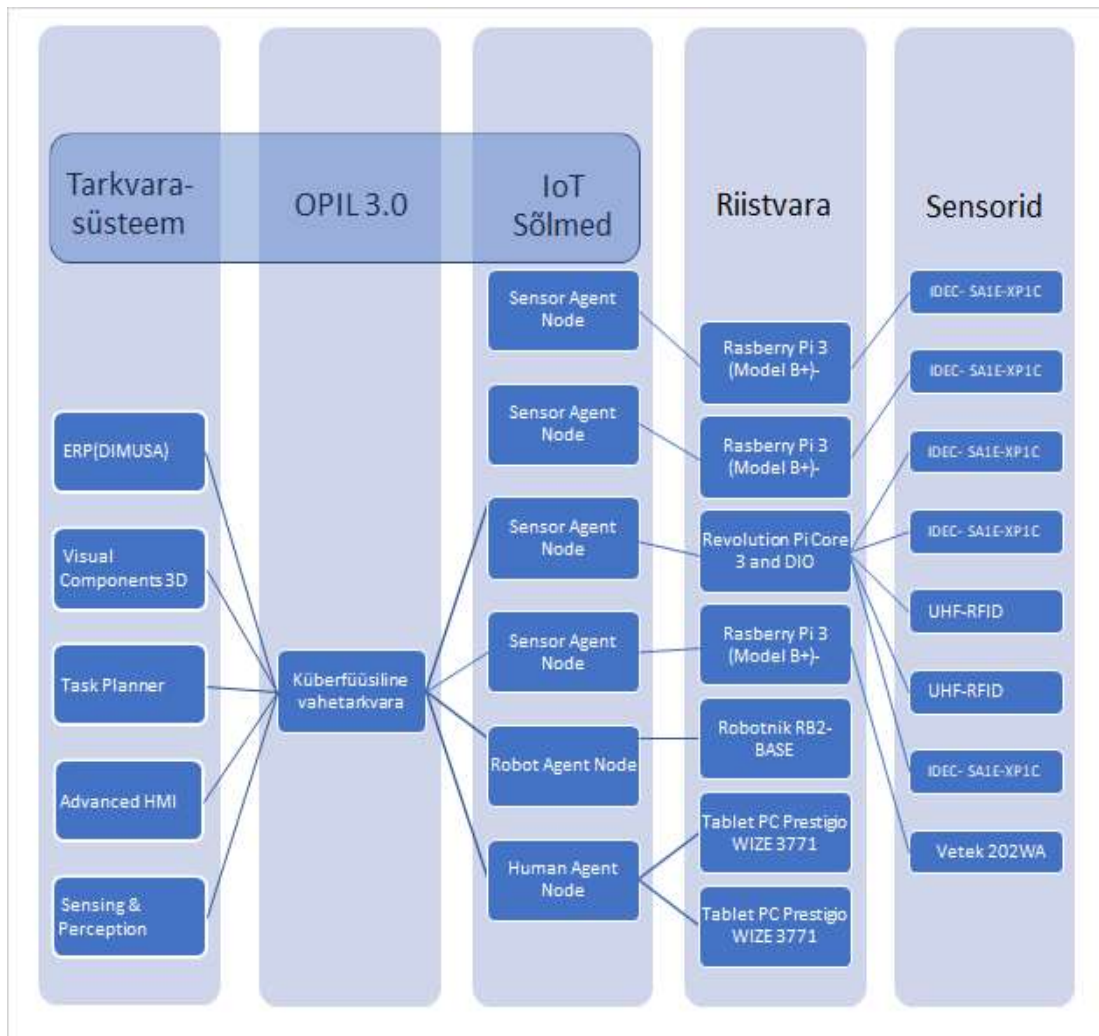
3. Tarkvarasüsteemide kiht – Puhtalt tarkvararakendused mis suhtlevad küberfüüsilise vahetarkvara (2) abil IoT sõlmede kui ka ettevõtte rakendustega.
- Task Planner- tegumiplaneerimise komponent mille ülesanneteks on OPIL struktuurile saadetavate ülesannete otsustamine ja optimeerimine, jälgida ülesannete täitmist ja planeerida liikumise ülesandeid RAN agentidele;
 - Advanced HMI – täiustatud HMI on visualiseerimise komponent kus saab reaajas ülesandeid jälgida ja kontrollida, näitab ettevõtte rakendustest saadud ülesandeid ja parameetreid ja saab muuta ülesande parameetreid;
 - Sensing & Preception – tunnetamise ja tajumise komponent annab OPIL süsteemi kasutajatel ja sõlmedele liikumisülesannete planeerimiseks teavet ohutuks ja täpse liikumise kavandamiseks. Kaardistamine hõlmab navigatsiooni andmeid tehase pinnal ning lokaliseerimine näitab reaajalist või prognoositavat elementide nagu näiteks kaupade , robotliikurite, seadmete jne. asukohta kaardil.

Vastavalt eelpooltoodud koostatud automatiseeritud tootmislogistika riistvara plaanile (Joonis 2.7 lk 67) ja OPIL struktuurile (Lisa 16) koostame OPIL arhitektuuri juurutamise plaani (Joonis 2.9 lk 76).

OPIL struktuurile on lisatud DIMUSA tarkvara töökäskude ja materjalivajaduse sünkroniseerimiseks. Logistika loogikadiagramm CHEMI-PHARM toomisliini sisendipoolel on toodud lisa 7 ja väljundi poolel lisa 8. Töökäsk on antud 25 pudeli villimiseks ja materjali etteandmisega 10, 10 ja 5 pudelit.



Joonis 2.8. Visual Components 3D simulatsioon süsteemi loogika kontrolliks.



Joonis 2.9 OPIL juurutamise plaan.

Lisaks on automatiseeritud tootmislogistika riistvaraplaanile juurde projekteeritud Visual Components 3D visualiseerimis tarkvara kasutades reaalse toomislíini mudel koos laadimisplatvormidega 1,2,3 ja 4 (Joonis 2.8 lk 75). Selline modelleerimine annab meile võimaluse eelnevalt läbi proovida mudeli toimimist erinevate materjalivoo intensiivsuse näitajate korral ja analüüsida saadud tulemusi ning selle põhjal teha materjalide käitlemise jaoks alternatiivseid plaane ja valida kõige optimaalsem lahendus.

2.4 AGV liikumisteede virtuaalne simulatsioon ja andmete analüüs

AGV liikumisteede määramiseks ja analüüsimiseks kasutame Visual Components 3D modelleerimise tarkvara. Simulatsioonid on koostatud reaalse tehase põrandapinna peale kasutades selleks ettevõtte ehitise 2D joonist kuhu on modelleeritud lao ja töökohtade asukohad. Simulatsiooni eesmärgiks on virtuaalse AGV -a leida optimaalsed tootmislogistika jaoks vajalikud liikumisrajad sõltuvalt esitatud tehnilistest nõuetest kaupade transportimiseks ning liikumisteede vahemaad ja protsessi ajad.

AS CHEMI-PHARM AGV liikumisteede analüüsi jaoks kasutasime automatiseeritud voogdiagrammi (Joonis 2.6 lk 66) protsesside kirjelduse jaoks, tabeleid (Tabel 6 lk 60 ja Tabel 7 lk 60) protsessi asukohtade määramisel ja valisime AGV MiR1000 (Tabel 12 lk 68) lähtuvalt koorma spetsifikatsioonist (Tabel 9 lk 62). Euroaluse paigutus tehases ja ladudes toimub statsioonarset kaubaalust kasutades (Joonis 2.5 lk 65) mis mahutab ühte euroalust.

Üldised liikumisteed ja AGV liikumisteed on simuleeritud vastavalt ettevõttes fikseeritud maha- ja peale laadimiskohtadele ja näidatud joonisel (Joonis 2.10 lk 80) ning kasutatud on ühesuunalist silmustüüpi vooluteed (Joonis 1.12 lk 35). (Mingayo, 2018). Liikumine toimub toormaterjali vahelaost (CAK-1) tootmisliinile (CAK-3) ning sealt edasi valmistoodangu vahelattu (CAK-5) kus peale mahalaadimist liigutakse tagasi toormaterjali vahelaos olevale AGV ootealale (CAK-1). Iga tootmisliini (CAK-3) ees ja lõpus toimub euroaluse maha- ja peale laadimise tsükkel. Liikumiskiirus on piiratud simulatsiooni jaoks 1,0 mm/s (3,6 km/h).

Leitud vahemaad ja tsükliajad iga tootmisliini kohta on toodud tabelis (

Tabel 18 lk 78).

Vooluteede ühe tsükli liikumisgraafik on toodud lisan 9. Tulemused on saadud reaalseid tootmisandmeid kasutades ja andmete valikul on lähtutud vooluteedel olnud suurimast vooluintensiivsusest ajavahemikul 18.11-24.11.2019. Iga voolutee ringlust on simuleeritud ühe MiR1000 robotiga.

Tabel 18. CHEMI-PHARM AGV vooluteede analüüsi tulemused.

AGV voolutee (1 AGV)	Tootmismahd päevas (tk)	Tootmismahd päevas (tk) DIMUSA	Voolu intensiivsus euroalus (tk/päev)	Läbitud teepikkus (m)	Aeg (s)	Laadimis tsükleid	AGV utiliseerimine vahetuses (%)
Villimine 1	4350	4360	8	993	1680	48	5,2
Villimine 2	3601	3624	5	676	1140	30	3,4
LIIN 3	1623	1665	11	1605	2520	66	8,1
LIIN 4 (WIPES)	1142	1168	4	564	960	24	2,8
KÕIK vooluteed	10716	10817	28	3800	5940	168	20,0

Algandmed: (Lisa 1 ja Lisa 12).

Simulatsiooni tulemused näitavad, et antud tootmisjõudlusega töötab AGV süsteem usaldusväärset ja tõhusalt ning tootmistellimuste täitmiseks aitab kui rakendada ühe sõidukiga AGV süsteemi. Tabelis (Tabel 18 lk 78) on arvatud iga voolutee ning kõik vooluteed kokku ühe AGV süsteemiga simuleerides ning arvatud utiliseerimise valemi (Võrrand 1.12 lk 34) põhimõtete järgi ja leitud AGV süsteemi utiliseerimine % ühes vahetuses. Madal utiliseerimise tase näitab süsteemi efektiivsust nii igal vooluteel eraldi kui ka kõikide vooluteede teenindamisel kokku. AGV süsteemi jaoks piisab navigatsiooni tehnoloogiast eeltäidetud ülesannete ja vooluteede automaatse navigatsiooni rakendamiseks. Euroaluse kasutamine annab võimaluse suurema partiiga kauba vedamisega korruga ja seetõttu on ka aluste transportimise vajadus väiksem ja tööülesanded lihtsalt kontrollitavad. Kulukaks teeb selle lahenduse AGV süsteemi kõrgem hind ja euroaluse teiseldamise seadmed on kallimad ja keerukamad. Tootmisandmetest on näha, et kasutatakse ka väiksemaid partiisid tootmises mistõttu tuleb tootmisliinidel teha olulisi seadistus töid kui toodete üleminekud toimuvad. See omakorda aga mõjub tootmisliini saadavust tootmistellimuste täitmiseks. AGV süsteemidele sobib rohkem tootmine kus partiid püsivad pikka aega staatiliselt. Üks võimalus on kaaluda ka tootepartii paralleelse kulgemisviisi kasutuselevõtmist kus ühte toodet tehakse kahel liinil korruga. See annab võimaluse vähendada tehnoloogilise tsükli pikkust.

Tootmismahdade ja tootmise efektiivsuse tõusmisel tuleb kasutusel võtta hübriidjuhtimisega süsteemi planeerimise tehnoloogiat nagu OPIL, et siduda AGV

süsteem otse ettevõtte ERP, MES ja WMS süsteemidega logistikaülesannete efektiivsemaks täitmiseks. Tabelist (Tabel 18 lk 78) on näha, et DIMUSA reaalajaliste andmete lugemine tootmisliinilt kattuvad väga täpselt tegelike tootmistulemustega ja see võimaldab väga täpselt ajas AGV süsteeme juhtida.

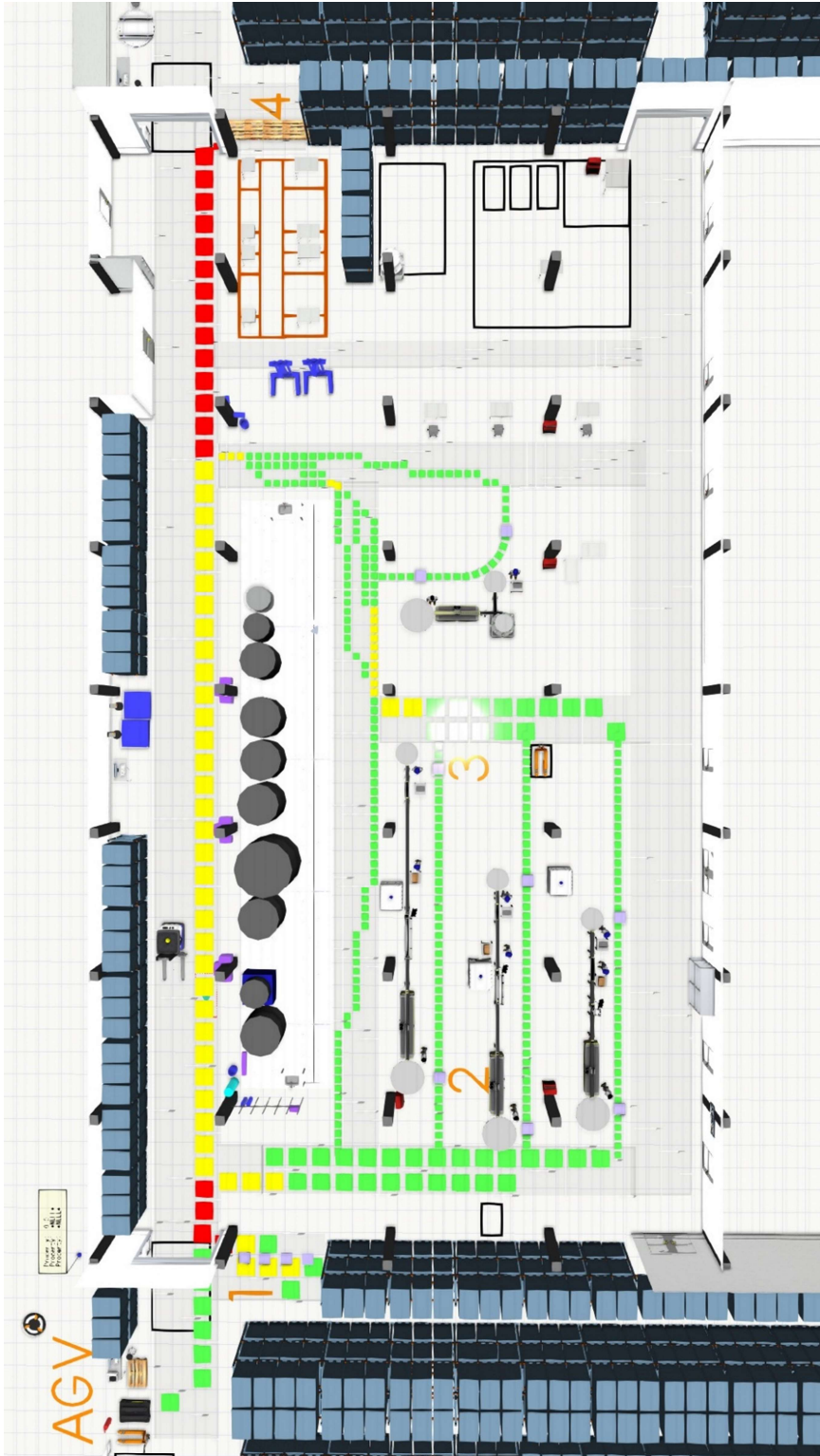
Uues tootmishoones on liikumisteede parameetrid piisavad, et tagada AGV masinapargi suhteliselt optimaalne liikumine. Tähelepanu tasub pöörata ka joonisel (Joonis 2.10 lk 80) näidatud vooluteedele kus punasega ja kollasega joonega on näidatud potentsiaalset konflikti võimalust sõidukite, ehitise ja inimeste vahel. Selles piirkonnas toimub ka kõige suurem töövoog mis teeb keerukamaks sõiduplaanidest kinnipidamise. Sellel alal asub ka vedelike koostisosade ladu mis tõstab teiste protsesside töövooge selles piirkonnas. Eelistada tuleb võimalikult sirgelt kulgevat vooluteed mistõttu oleks AGV süsteemide kasutuselevõtuga ehitada tootmaterjali ja valmistoodangu lao tootmisega kulgevale seinale keskosasse lisa läbikäik.

Eraldi tuleks analüüsida AGV süsteemi valikul kas võiks kasutada tootmislogistika korraldamisel väiksemat kaubaaluste kasutamist, et valida väiksema kandevõimega odavam AGV (Tabel 13 lk 69) või valida jooniselt (Joonis 2.5 lk 65) liikuva kaubaalusega lahendus kus saab kasutada väiksema kandevõimega kuid suurema järel veetava koormaga AGV süsteemi varianti. Selline lähenemine aitaks vähendada tootmistsükli koguaega ja võtta kasutusele täpsemad kauba automaatsed identifitseerimise ja kvaliteedi tagamise vahendid. Selle lahenduse loogikadiagrammid on toodud lisades 7 ja 6.

Enne investeringute tegemist automatiseeritud logistika süsteemi juurutamiseks tuleb teha alternatiivsed simulatsiooni lahendused erinevate liikumisteedega, AGV süsteemidega ja partii suurustega. Saadud tulemusi kasutades on soovitatav teha reaalse AGV süsteemiga tehasepinnal teekondade ja logistikaülesannete täitmise seotud katsed simulatsiooni tulemuste õigsuse kontrolliks ja paranduste sisseviimiseks. Koostame esialgse hinnakalkulatsiooni (Tabel 19 lk 79) kõikide vooluteede teenindamiseks ühe AGV süsteemi (MiR1000) kasutades. Hinnad ei sisalda käibemaksu.

Tabel 19. CHEMI-PHARM AGV süsteemi hinnakalkulatsioon.

AGV süsteemi maksumus				
Nimetus	Kogus	Ühik	Ühiku hind	Summa kokku
MiR1000	1	tk	67100	67100
MiR1000 tõstuk euroalusele	1	tk	5100	5100
MiR1000 automaatne laadimisjaam	1	tk	3400	3400
MiR1000 fikseeritud alus euroalusele	16	tk	1350	21600
Paigaldus ja testimine	40	h	50	2000
MiRFleet management	1	tk	7000	7000
			Kokku:	106200



Joonis 2.10 CHEMI-PHARM AGV simuleeritud liikumisteed .

KULINAARIA OÜ AGV liikumisteede analüüsi jaoks kasutasime automatiseeritud voogdiagrammi (Joonis 2.6 lk 66) protsesside kirjelduse jaoks, tabeleid (Tabel 2 lk 54 ja Tabel 3 lk 54) protsessi asukohtade määramisel ja valisime AGV (Tabel 11 lk 68) lähtuvalt koorma spetsifikatsioonist (Tabel 5 lk 58). Taarakastide paigutus tehases ja ladudes toimub liikuvat kaubaalust kasutades (Joonis 2.5 lk 65) kus ühele liikuvale kaubaalusele mahub kuni 20 taarakasti kogukaaluga maksimaalselt 200kg.

AGV liikumisteed on simuleeritud fikseeritud maha- ja peale laadimise kohtade järgi ja näidatud joonisel (Joonis 2.11 lk 84) ning kasutatud on ühesuunalist silmustüüpi vooluteed (Joonis 1.12 lk 35). (Mingayo, 2018). Liikumine toimub taarakastide pesuosakonnast (KAK-1) tootmisliinile (KAK-7) ning sealt edasi valmistoodangu vahelattu (KAK-10) kus peale mahalaadimist liigutakse tagasi pesuosakonda olevale AGV ootealale (KAK-1). Iga tootmisliini (KAK-7) lõpus toimub taarakastide maha- ja peale laadimise tsükkel kus tühjad taarakastid asetatakse koos spetsiaalse liikuva ratastel kaubaalusega märgistatud alale ja liigutakse edasi järgmisesse märgistatud alale kus võetakse kauba ratastel alus peale. Liikumiskiirus on piiratud simulatsiooni jaoks 1,0 mm/s (3,6 km/h).

Leitud vahemaad ja tsükliajad iga tootmisliini kohta on toodud tabelis (Tabel 20 lk 81). Vooluteede ühe tsükli liikumisgraafik on toodud lisa 10.

Tulemused on saadud reaalseid tootmisandmeid kasutades ja andmete valikul on lähtutud kättesaadavatest materjalidest ajavahemikul 03.11-04.11.2019. Iga voolutee ringlust on simuleeritud ühe MiR200 robotiga mis tehnilisest spetsifikatsioonist sarnaneb Robotnik RB-2 mudeliga. Ratastel kaubaalusele on paigaldatud 10 taarakasti mis on asetatud üksteise otsa ja kus kast on asetatud pikuti sõidusuunaga.

Tabel 20. KULINAARIA AGV vooluteede analüüsi tulemused (10 taarakasti).

AGV voolutee (1 AGV)	Tootmisaht päevas (tk)	Tootmisaht päevas (tk) DIMUSA	Voolu intensiivsus taarakast (tk/päev)	Läbitud teepikkus (m)	Aeg (s)	Laadimistsükleid	AGV utiliseerimine vahetuses (%)
Leonardo	3946	4022	754	8006	15210	320	52,6
Speedy 1	6433	6317	314	3366	6270	128	21,6
Speedy 2	6505	6864	565	6221	11480	232	39,7

Algandmed: (Lisa 2 ja Lisa 11).

Tabelis (Tabel 20 lk 81) on iga voolutee eraldi ühe AGV süsteemiga simuleeritud ning arvutatud utiliseerimise valemi (Võrrand 1.12 lk 34) põhimõtete järgi AGV süsteemi efektiivsus. Küll aga selgub eelpoolnimetatud tabelist, et antud vooluintensiivsusega on süsteem suhteliselt koormatud ning teha tuleb teha palju laadimistsükleid ning läbida

pikki vahemaid. Üks võimalus selle lahendamiseks on tõsta ühe korraga veetava koorma mahtu lähtudes valitud AGV süsteemi tehnilist spetsifikatsiooni silmas pidades.

Tabelis (Tabel 21 lk 82) on simulatsiooni käigus kasutatud 20 taarakasti mis asetatud kahes tornis 10 kaupa ning asetatud pikuti risti sõidusuunaga. Siit tabelist on näha kuidas koorma kahekordistamine mõjutab otseselt teepikkuse ja koguse muutusest tingitud AGV süsteemi utiliseerimise taset.

Tabel 21. KULINAARIA AGV vooluteede analüüsi tulemused (20 taarakasti).

AGV voolutee (1 AGV)	Tootmismahd päevas (tk)	Tootmismahd päevas (tk) DIMUSA	Voolu intensiivsus taarakast (tk/päev)	Läbitud vahemaa (m)	Aeg (s)	Laadimistsüklid	AGV utiliseerimine vahetuses (%)
Leonardo	3946	4022	754	3097	7620	160	26,2
Speedy 1	6433	6317	314	1683	3150	64	10,7
Speedy 2	6505	6864	565	3110	5750	116	19,8
KÕIK vooluteed	16884	17203	1633	13670	21810	340	75,6

Algandmed: (Lisa 2 ja Lisa 11).

Simulatsiooni tulemused näitavad, et antud tootmisjõudlusega töötab AGV süsteem usaldusväärselt ja tõhusalt kui kasutada iga voolutee kohta ühte AGV süsteemi. Ühe AGV süsteemi kasutamisel kõigil vooluteedel aga tõusis töökohta teenindamise konfliktide ja tühisõitude osakaal mis on tingitud tootmisliinide erinevast protsessi ajast ja seetõttu tekivad kitsaskohad töökohtade teenindamisel ning lihtsat navigatsiooni tehnoloogiat logistika tööülesannete täitmiseks ei saa siin kasutada. Tabelist (Tabel 21 lk 82) on näha, et DIMUSA reaallajalised tootmisandmed kattuvad väga täpselt reaalse tootmistellimuste täitmisega ja see annab meile võimaluse AGV süsteemi ajas väga täpselt juhtida võttes kasutusele OPIL süsteemi planeerimise tehnoloogia. Lisaks tuleb siia liita ettevõtte ERP, MES ja WMS süsteemid, et tagada tootmisliinidel ühtlustatud töö ja materjali vood ja töökäskude ajaline planeerimine. Vaadates lisa 2 toodud tootmisstatistika andmeid ja lisa 11 toodud tootmis tellimuste andmeid siis on näha, et erinevate toodete variatsioon on kõrge ning see tingib oluliselt ümberseadistusi toodetelt üleminekul ja see mõjutab otseselt tootmisliinide kasutatavuse näitajaid. AGV süsteem on optimaalselt koormatud kui tootepartiid on staatilisemad.

Lisaks on vaja kauba tarnekindluse saavutamiseks kasutada mitut AGV süsteemi, et probleemide korral saaks ülesandeid teise voolutee AGV süsteemiga katta. Kaaluda tuleb ka erinevate vooluteede tüüpide (Joonis 1.12 lk 35) kasutamist. Näiteks redel tüüpi voolutee kasutamist mis sobib konkreetse hoone koridoride asetusega. See omakorda lisab vahekoridoridesse lisa koormate asetamise vajaduse mis on niigi kitsastes koridorides problemaatiline samuti muudab see keerukamaks logistika korraldamise loogika.

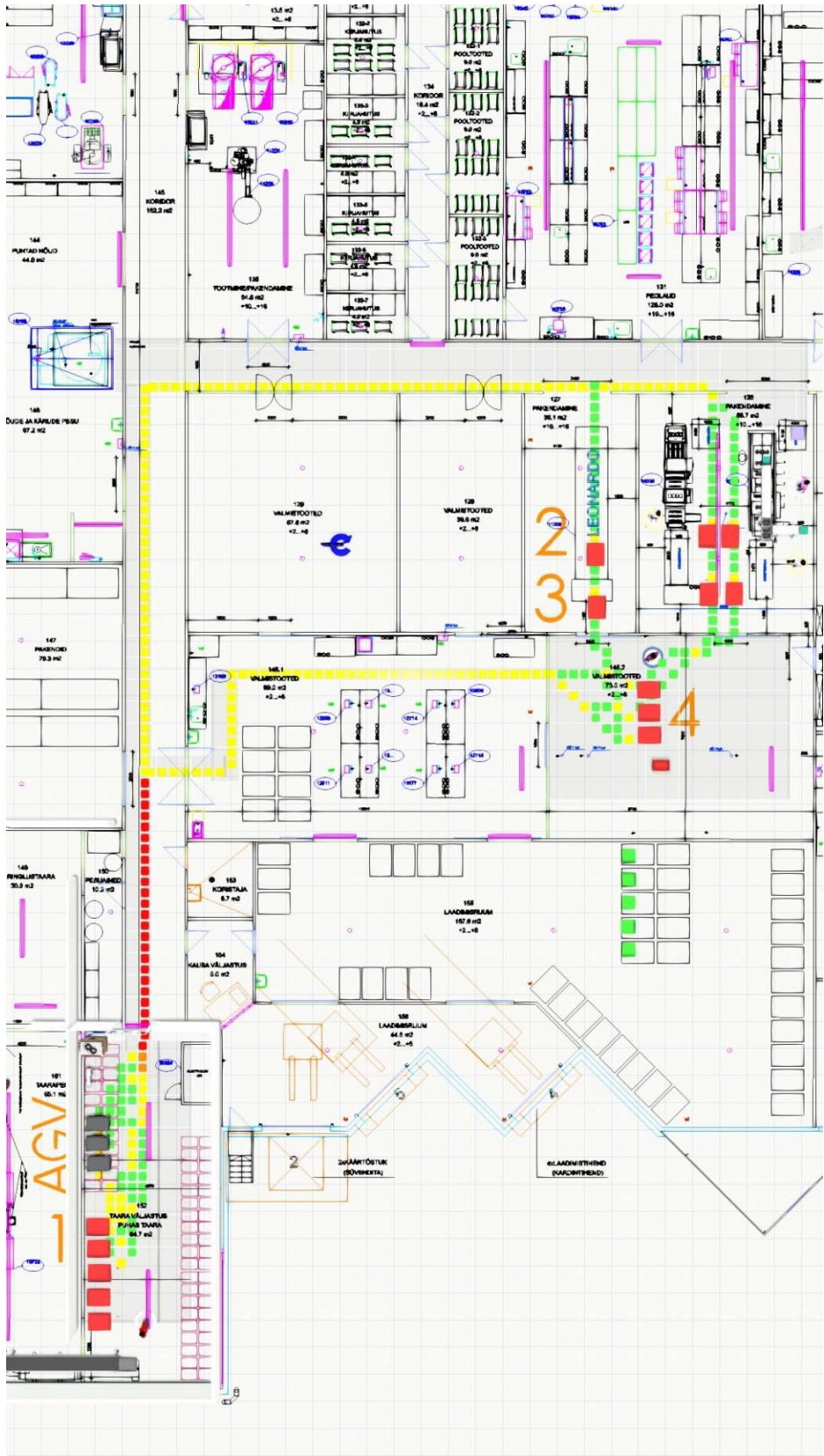
Ruumide korraldamisel on aga kindlasti vaja mõelda kuidas seadmed on paigaldatud koorma ja lähte ja sihtkohtade vahel. Joonisel (Joonis 2.11 lk 84) näidatud kollasega ja punasega voolutee probleemsed kohad mis on seotud ohutusega ja AGV tühikäikudega. Vooluteed on ise kitsad ja lisaks on palju ristuvaid ustega läbikäiguavasid kus liiguvad kaubad ja inimesed ja seetõttu suur kokkupõrke ja konfliktide oht. Samuti on piiratud ruum tootmiseseadmete ümber mis raskendab kiiret kaupade maha- ja peale laadimist. See kõik aga eeldab enne AGV süsteemi soetamist põhjalikku ruumide ja seadmete asetuse analüüsi ning tuleb koostada põhjalik riskianalüüs tagamaks kogu projekti ohutus. Saadud tulemused tuleb kanda kaardile märgistades ohupiirkonnad ning kehtestada kiirusepiirangud ja alles seejärel teha uued simulatsiooni arvutused leidmaks optimaalsed voolutee lahendused AGV süsteemide kasutamiseks. Näiteks tehases seadmete paigutus, elektrilised vahekäiguüksed, liikumisteede laiuse mis tagavad ohutu liikumise sõidukitele ja inimestele. Lisaks tuleb saadud simulatsiooni andmed võrrelda AGV süsteemi katse tulemustega tootmispinnal. Iga võimalik voolutee tuleb testida etteantud režiimidel teostades kõik vajalikud maha- ja peale laadimise tsüklid ning andmed ühtlustada ja uuesti andmed kriitiliselt üle vaadata ning leida AGV sõidukipargi suurus ja investeeringute suurus koos tasuvusajaga.

Uue 2020 aastal valmiva tehase (Joonis 1.17 lk 44) laiendusega tuleb arvestada ka uute tehniliste nõuete ja tarkvara ning riistvara nõuetega.

Koostame esialgse hinnakalkulatsiooni (Tabel 22 lk 83) kõikide vooluteede teenindamiseks ühe AGV süsteemi (Robotnik RB-2) kasutades.

Tabel 22. KULINAARIA OÜ AGV süsteemi hinnakalkulatsioon.

AGV süsteemi maksumus				
Nimetus	Kogus	Ühik	Ühiku hind	Summa kokku
Robotnik RB-2	1	tk	27000	27000
Robotnik RB-2 tõstuk	1	tk	3600	3600
Robotnik RB-2 automaatne laadimisjaam	1	tk	2500	2500
Alumiinium vaheraam koorma transpordiks	36	tk	100	3600
IR-sensor SA1E -XP1C	12	tk	80	960
Raspberry Pi 3	4	tk	45	180
Revolution Pi Core 3	2	tk	260	520
Kaaluandur 202WA-200 kg	1	tk	89	89
Simens LOGO 12/24	4	tk	163	652
Tahvelarvuti WIZE 3771	4	tk	78	312
Paigaldus ja testimine	80	h	50	4000
OPIL juhtsüsteem	1	tk	0	0
			Kokku:	43413



Joonis 2.11. KULINAARIA OÜ AGV simuleeritud liikumisteed.

Taltech Mehaanika ja tööstustehnika instituudis on välja töötatud mobiilne robot (Joonis 2.12 lk 85) mis on mõeldud tootmisettevõtetele automatiseeritud tootmislogistika korraldamiseks. Projekt keskendub töökoha optimeerimisele läbi robot-robot või operaator-robot koostoime ja tegevuste seiresüsteemi ning seda teenindava mobiilse robotsõiduki prototüübi arendusega. Kulinaaria OÜ ja Taltech Mehaanika ja tööstustehnika instituut osalevad Euroopa ühisprojektis L4MS mis on suunatud väikeste- ja keskmiste suurustega ettevõtetele tootmislogistika automatiseerimise läbiviimiseks.

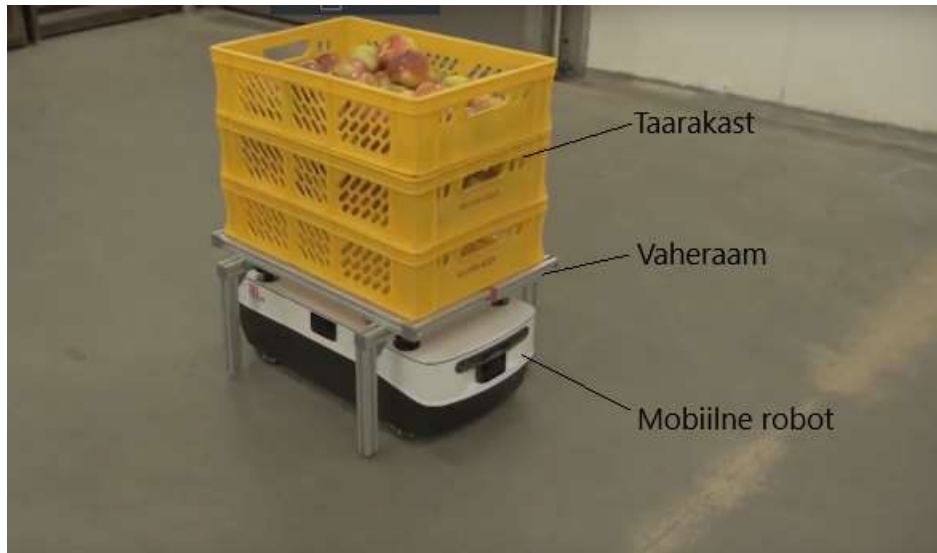


Joonis 2.12. Taltech mobiilne robot. (Mehaanika ja tööstustehnika instituut koduleht 28.11.2019)

Mobiilne robot on mõeldud komponentide, pool- ja valmistoodete transportimiseks tootmisüksuste ja ladude vahel. Transporditavateks üksusteks on kastid (tüüpB2, B4) mille peal võivad olla mahutites või kanistrites vedelikud, pulbrid, tühjad pudelid, pakid, pappkastid jne. (Mehaanika ja tööstustehnika instituut koduleht 28.11.2019)

Mobiilse roboti spetsifikatsioon : laius 500 mm; pikkus 600 mm; kõrgus 300 mm; kliirens 40 mm; kandevõime 25 kg; aku kestus kuni 6h; liikumiskiirus kuni 2 m/s; omni rattad, 2D kaamera, 4 lidarit.

2020 aasta esimesel poolel viiakse läbi reaalsed katsed tehasepinnal kus kasutatakse mobiilset robotit ja sellel asuvat vaheraami (Joonis 2.13 lk 86) mis on mõeldud taarakastide transpordiks. Mobiilsel robotil on suunaga pealt poolt laadimismehhanism vaheraami tõstmiseks ja langetamiseks, et saaks koorma maha- ja peale laadida tootmishoone eri punktides.



Joonis 2.13. Vaheraami lahendus. (Mehaanika ja tööstustehnika instituut koduleht 28.11.2019)

Katse käigus hinnatakse järgnevaid tegureid:

- Transpordi tsükli ajad – hinnatakse iga võimaliku voolutee läbimiseks ja ülesannete täitmiseks kuluvat aega;
- Tarnekindlus – kas kaup saabub õigeaegselt;
- Transpordi defektid – vale kauba ja kauba koguse defektid transpordi ülesannete täitmisel;
- Varude läbilaskevõime – kui kiiresti jõuavad kaubad toormaterjali laost valmistoodangu lattu;
- Tööjõukulud – töötaja materjalide maha- ja peale laadimise ning transpordikulud.

2.5 Ohutus- ja riskianalüüs

Käesolevas alampunktis uurime täpsemalt AGV süsteemidega kasutamisega kaasnevat riski ja millised on võimalused nende kasutamise ohutuse tagamiseks. AGV süsteemide kasutamine just väike- ja keskmise suurusega ettevõtetes on viimastel aastatel hüppeliselt kasvanud ja sellega seoses on tekkinud küsimused ka nende ohutus kasutamises koostöötamisel inimestega.

Aluseks võttes joonistel (Joonis 2.10 lk 80 Joonis 2.11 lk 84) AGV vooluteed saame välja tuua suuremad ohutusosalased küsimused ja probleemid:

1. Ristuvad teed ja läbikäiguavad (uksed) – AGV süsteemi reageerimine erinevatele ohuolukordadele. Millised on võimaluse ennetustööks ja ohutuse tagamine protsesside ajal;
2. Kahesuunalised liikumisteed – millised on ohutu liikumiskoridori nõuded, et tagada liikumisvabadus mõlemal suunal;
3. Nähtavus ja kuuldavus – kuidas teha liikumised nähtavaks ja kuuldavaks nii inimesele kui AGV süsteemile;
4. Isikuandmete käitlemine – isikuandmete kogumine protsesside käigus;
5. Liikumise kiirus vooluteedel – liikumise ohutud kiirused erinevates ettevõtte piirkondades;
6. Koolitus- ja tööohutusosalane juhendamine - AGV süsteemide kasutamise kord ja ohutusosalane juhendamine;
7. Ohutusmärgistus – AGV liikumisteede ohutusmärgid ja märgistamise kord .

AGV ohutustandardid mis kehtivad hetkel on määratletud on USA-s „ANSI/ITSDF B56.5 – 2019” ja Euroopas „EVS-EN 1525:1999”. (Safety Standard For Guided Industrial Vehicles, 2019), (Tööstuslike mootorkäruude ohutus. Juhita kärud ja nende süsteemid, 1999). Mõlemad määratlevad automatiseeritud juhtimisega sõidukite projekteerimise kasutamise ja hooldusega seotud ohutusnõudeid.

Lisaks kasutatakse Euroopas ka AGV süsteemide juhtimisosade ohutuses kirjeldamisel uuemat standardit „EVS-EN ISO 13849-1 :2015 „ . (Masinate ohutus, 2015).

Siinkohal toome välja mõned ohutusnõuete põhiosad:

1. Sõidukite ohutus- ja hädaolukorra juhtimiseseadmed ja seadmed – seadmed- ja juhtseadmed mis tagavad automaatselt ja kiiresti liikuvad komponendid ja rakendavad pidurdamist. Põhiliselt sõidusuunas olevad andurid mis katavad maksimaalse liikumislaiuse ja pikkuse vältimaks kokkupuudete võimalike takistustega;
2. Pidurdusteekond – pidurisüsteemi ja objekti tuvastussüsteemi reageerimisaeg objekti tuvastamisest kuni sõiduki seiskumiseni sõidusuunas. ;
3. Juhtimissüsteem – sõidu kavandatud teelt kõrvalekaldumine nõuab seiskumist.

AGV turvasüsteemid võib jagada kahte rühma kus esimesed on aktiivsed AGV ohutuse seadmed ja teiseks rühmaks on passiivsed ohutuselemendid.

1. Enamkasutatavad AGV aktiivse ohutuse seadmed;
 - Laserskannerid või kokkupõrke vältimise süsteemid
 - Aktiivsed kaitserauad

- Hädaseiskamis nupud
2. Ohutust tagavad PLC süsteemid.
- Enamkasutatavad passiivsed ohutusseadmed.
 - Hoiatustuled
 - Helisignaaliid
 - Märgid ja sildid AGV sõidukil

Tänapäevastel AGV seadmetel kasutatakse põhiliselt laserskaneerimise seadmeid mis täidavad põhiliselt ruumide kaardistamise ja ohutusealaseid funktsioone. Oluline nende seadmete puhul määrata korrektsed ohutusväljad mis sõltuvad paljudest teguritest nagu näiteks ehitise käiguteede parameetrid, sõiduki kiirus, koormus, põranda tingimused jne.

Joonisel (Joonis 2.14 lk 88) on toodud välja ohutusväljad AGV sõiduki juures mis on olulised ohutuse sertifitseerimise juures. Kollasega on märgitud „Hoiatus esitatud“ väli mis objekti tuvastamisel aeglustab sõiduki. Punane väli aga on kõige olulisem n-ö „turvaväli“ kus sõiduk objekti tuvastamisel peatub.



Joonis 2.14. Ohutuslaserite ohutusväljad. (SICK koduleht 01.01.2020)

Oluline roll on ka passiivseadmete kasutamisel nagu näiteks hoiatustuled ja helisignaaliid. AGV- I hoiatustuled näitavad näiteks robotistaatust nagu liikumine, pööramine või pidurdamine ning nende nähtavus peab olema nähtavad igast suunast. Helisignaali võib näidata näiteks kas liikumise alustamist või mõne laadimisoperatsiooni alustamist. AGV sõidukid peavad kogu liikumise ajal andma kas helisignaale, visuaalseid signaale või nende kombineeritud koostöö. Peale AGV turvasüsteemide on oluline roll ka selle süsteemi keskkonna ohutuse kohta ja soovitatav on läbi viia riskianalüüs ja hindamine ning koolitada töötjad kes nendes seadmete ohupiirkonnas töötavad. Mõned olulised nõuded keskkonnanõuetele (Safety Standard For Guided Industrial Vehicles, 2019):

1. Taksituste ja sõidukite (sealhulgas koormate) vahel peab olema vähemalt 0,5 m vaba ruumi. Kõiki muid vähendatud liikumisruumiga lasid peetakse ohualadeks ning need peavad olema selgelt tähistatud siltide, triipude, tuledes või muude tähistustega;
2. Kui jalakäijale on ette nähtud evakuatsioonitee, peab maksimaalne sõidukiirus olema piiratud 0,3 m/s ja sõidurada peetakse ohutsooniks;
3. Kõik AGV liikumisteed ja alad peavad olema ettevõtte poolt tähistatud ja märgistus peab olema selgelt teistest märgistustest eristatav.

KOKKUVÕTE

Materjalide käsitlemine on mis tahes tootmistegevuse lahutamatu osa ning arvestades varustuse ja sellega seotud ohutuse tagamise kulusid on ettevõtte jaoks oluline kujundada toimiv ja süsteemne materjalide käsitlemise süsteem. Automaatjuhtimisega sõidukite süsteemide kasutamine materjalide käsitlemise juures on juba laialt levinud ja nende kasutuselevõtmine tootmisettevõtetes on tõusnud viimasel ajal hüppeliselt. Selliste süsteemide eelised on näiteks suurem paindlikkus, parem ruumi kasutus, üldiste töökulude vähenemine, suurem ohutus tehase pinnal ja lihtsam liides teiste automatiseeritud süsteemidega.

Automatiseeritud tootmislogistika korraldamisega seotud küsimusi on eestikeelses erialakirjanduses analüüsitud suhteliselt vähe ning sellest tulenevalt tutvustati esimeses teoreetilises osas tootmislogistika korraldamise põhimõtteid ja tehnikaid ning süstemaatilise käitlemise analüüsi meetodeid nende muutuste elluviimiseks. Lisaks anti ülevaade automaatjuhtimise sõidukite ning automaatse identifitseerimise ja äratundmise tehnoloogiast ja selgitati nende valikute põhimõtteid tootmislogistika korraldamisel. Teoreetilise osa viimastes alampeatükkides anti AS Chemi-Pharm ja Kulinaaria OÜ ettevõtete ülevaade ning selgitati täpsemalt nende tootmisüksuste reaalses tootmisandmete analüüsi valikuid ja põhimõtteid.

Tootmislogistika automatiseerimise osa esimeses alampeatükis selgitati välja millised tehnilised nõuded ja ootused on automatiseeritud tootmislogistika kasutuselevõtmiseks ettevõtetes. Uuriti täpsemalt millised on ettevõtete logistikasõlmede asukohad, transporditeed ja koorma spetsifikatsioon ning määratleti automatiseeritud tootmislogistika eesmärgid.

Teise osa teises ja kolmandas alampunktis vaadati üle tehnilised nõuded riistvara ja tarkvara kasutuselevõtuks automatiseeritud tootmislogistika korraldamisel. Riistvara nõuete osas seati kriteeriumid AGV süsteemide valikuks ning koostati vastavalt ühtlustatud automatiseeritud voogdiagrammile sensorite paigalduse põhimõtteskeem. Eraldi toodi välja ka mõningate AGV süsteemide ja sensorite spetsifikatsioonid. Tarkvara nõuete osas anti lühiülevaade tänapäeva kasutatavatest AGV juhtsüsteemidest ning koostati tarkvara juurutamise plaan kasutades sensorite paigalduse põhimõtteskeemi ja avatud lähtekoodiga hübriidjuhtimisega süsteemi planeerimise tehnoloogiat OPIL.

Neljandas alampeatükis koostati automatiseeritud tootmislogistika virtuaalsed mudelid kasutades Visual Components 3D modelleerimise tarkvara võtteks aluseks ettevõtete tehasepinna jooniseid. Vastavalt tehnilistele nõuetele ja saadud reaalsele tootmisandmetele tuginedes optimeeriti AGV süsteemi liikumised ja visualiseeriti need andmete analüüsimiseks. Saadud andmed toodi välja graafikutel ja tabelites ja koostati analüüs ning anti soovitusid süsteemi parandamiseks ja arenduse jätkamiseks.

Lisaks tutvustati lühidalt AGV süsteemi rakendamise katsete läbiviimise põhimõtetest ja tehnilisest lahendusest Kulinaaria OÜ tootmisüksuses.

Teise osa viimases alampeatükis peatuti AGV süsteemide ohutusega seotud küsimustel ja toodi välja olulisemad nõuded nende täitmiseks.

Kokkuvõtvalt saame öelda, et automatiseeritud tootmislogistika kasutusele võtmine ettevõtetes on tehniliselt võimalik kuid vajab alternatiivsete liikumisteede ja asukohtade põhjalikumat uurimist nii virtuaalselt kui ka rakenduse katsetamist reaalses tootmiskeskkonnas. Virtuaalse mudelile on vajalik sisse viia ohutusosalad ning täpsemalt simuleerida tootmisprotsesse erinevate reaalajaliste andmetega, et aru saada kui palju mõjutavad need faktorid AGV süsteemide toimivust erinevates olukordades. Saadud andmetele tuleb teostada matemaatiline analüüs mille põhjal saab välja arvutada automatiseeritud tootmislogistika korraldamiseks vajamineva investeeringute suuruse ja leida selle süsteemi tasuvusaeg.

SUMMARY

PRODUCTION LOGISTICS AUTOMATION IN THE CHEMISTRY AND FOOD INDUSTRY

Tõnis Raamets

Material handling is an integral part of any manufacturing activity, and given the cost of equipment and associated safety, it is important for a company to design a workable and systematic material handling system. The use of automated vehicle systems for material handling is already widespread and their introduction into manufacturing plants has increased tremendously recently. The advantages of such systems are, for example, greater flexibility, better space utilization, reduced overall operating costs, greater factory safety, and easier interface with other automated systems.

Issues related to the management of automated production logistics have been relatively little analyzed in the Estonian language publications, and consequently the first theoretical part introduces the principles and techniques of production logistics management and the methods of systematic handling analysis to implement these changes. In addition, an overview of the technology of automated guided vehicles and automatic identification and recognition is introduced, and the principles of these choices in production logistics are explained. The last sub-chapters of the theoretical part give an overview of the companies of AS Chemi-Pharm and Kulinaaria OÜ and explain in more detail the choices and principles of real-time production data analysis of these production units.

The first sub-chapter of the Production Logistics Automation section outlines the technical requirements and expectations for the introduction of automated production logistics in enterprises. The locations, transport routes and load specifications of the companies' logistics nodes were studied in more detail and the goals of automated production logistics were defined. The second and third sub-paragraphs of Part Two reviewed the technical requirements for hardware and software deployment in automated production logistics. In terms of hardware requirements, criteria were set for the selection of AGV systems, and a schematic diagram of sensor installation was drawn up in accordance with a harmonized automated flow chart. Specifications for some AGV systems and sensors were also highlighted. In terms of software requirements, a brief overview of today's, modern AGV control systems was provided, and a software deployment plan was developed using the Sensor Installation Principle Scheme and OPIL, the open source hybrid control system planning technology. In the fourth sub-chapter, virtual models of automated production logistics were prepared using factory floorplan drawings based on Visual Components 3D modeling software. Based on the

technical requirements and the actual production data obtained, the paths of the AGV system were optimized and visualized for data analysis. The resulting data was plotted on charts and tables, and an analysis was made and recommendations were made to improve the system and continue its development. In addition, a brief introduction to the principles and technical solution for testing the implementation of the AGV system at the Kulinaaria OÜ production unit was introduced. The last sub-chapter of Part Two dealt with the safety issues of AGV systems and outlined the key requirements to meet them.

In conclusion, it is technically feasible to implement automated production logistics in companies, however, it requires more in-depth exploration of alternative routes and locations, both virtually and application testing in a real production environment. It is necessary to introduce security areas into the virtual model and more precisely simulate production processes with different real-time data in order to understand how much these factors affect the performance of AGV systems in different situations. The data obtained must be subjected to a mathematical analysis which can be used to calculate the amount of investment required to run automated production logistics and to determine the payback period for that system.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. **Kulinaaria OÜ sisedokumendid 20.11.2019.** Kulinaaria OÜ sisedokumendid 20.11.2019. a.
2. **AS Chemi-Pharm sisedokumendid 21.11.2019.** AS Chemi-Pharm sisedokumendid 21.11.2019. a.
3. **Anil Kumar, S. Suresh. 2007.** *Production and Operations Management*. s.l. : New Age International Ltd, 2007.
4. **Arkan, I. Landeghem, H. 2013.** *Evaluating the performance of a discrete manufacturing process using RFID: A case study*. [Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, pages 502-512] 2013. a.
5. **AS Chemi-Pharm koduleht 21.11.2019.** AS Chemi-Pharm koduleht. [Võrgumaterjal] AS Chemi-Pharm koduleht 21.11.2019. a. <https://www.chemi-pharm.com/et/>.
6. **Carrie, A. 1992.** *Simulation of Manufacturing Systems*. East : John Wiley & Sons Ltd., 1992.
7. **Chengbao, L. Jie, T. Hongsheng, Z. Yaning, L. Xiwei, B. 2017.** s.l. : July 26-28, 2017, Dalian, China, 2017. Workshop, Path Planning and Intelligent Scheduling of Multi-AGV Systems in.
8. **Duroc, Y. Tedjini, S. 2018.** *RFID: A key technology for Humanity*. [Comptes Rendus Physique, page 64-71] 2018. a.
9. **Evocon koduleht 25.12.2019.** Evocon koduleht. [Võrgumaterjal] Evocon koduleht 25.12.2019. a. <https://evocon.com/>.
10. **Ganesharajah, T. Hall, N. Sriskandarajah, C. 1998.** *Design and operational issues in AGV-served manufacturing systems*. [Annals of Operations Research, January 1998, Volume 76, page 109-154] 1998. a.
11. **Ghobankhloo, M. 2019.** *Industry 4.0, Digitization, and Opportunities for Sustainability*. s.l. : ScienceDirect, 2019. a.
12. **GlobalReader koduleht 25.12.2019.** GlobalReader koduleht. [Võrgumaterjal] GlobalReader koduleht 25.12.2019. a. <https://globalreader.eu/et/>.
13. **Kabral, Hillar Endel. 2007.** *Tootmine ja operatsioonijuhtimine*. Tallinn : TTÜ kirjastus, 2007.
14. **Ketkar, M. Vaidya, S. 2014.** *Developing Ordering Policy based on Multiple Inventory Classification Schemes*. [Procedia - Social and Behavioral Sciences, volume 133, 15 Mai 2014, pages 180-188] 2014. a.
15. **Kulinaaria OÜ koduleht 20.11.2019.** Kulinaaria OÜ koduleht. [Võrgumaterjal] Kulinaaria OÜ koduleht 20.11.2019. a. <https://www.kulinaariatoit.ee/>.
16. **L4MS koduleht 27.12.2019.** L4MS koduleht. [Võrgumaterjal] L4MS koduleht 27.12.2019. a. <http://www.l4ms.eu/>.
17. **Lean meetodid ja terminid 09.12.2019.** Lean meetodid ja terminid. [Võrgumaterjal] Lean meetodid ja terminid 09.12.2019. a. <https://leanway.ee/oe-overall-equipment-effectiveness/>.
18. **Masinate ohutus. 2015.** Juhtimissüsteemide ohutusega seotud osad. Tallinn : Eesti standardikeskus, 2015. a. EVS-EN ISO 13849-1 :2015.
19. **Mehaanika ja tööstustehnika instituut koduleht 28.11.2019.** Mehaanika ja tööstustehnika instituut koduleht. [Võrgumaterjal] Taltech, Mehaanika ja tööstustehnika instituut koduleht 28.11.2019. a. <https://www.ttu.ee/instituut/mehaanika-ja-toostustehnika-instituut/>.
20. **Mingayo, Q. Xiaowen, L. Xuejun, Y. Canrong, Z. 2018.** *On the evaluation of AGVS-based warehouse operation performance*. [Simulation Modelling Practice and Theory, Volume 87, Spetember 2018, Pages 379-394] 2018. a.
21. **MIR koduleht 02.01.2020.** MIR koduleht. [Võrgumaterjal] MIR koduleht 02.01.2020. a. <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/>.

22. **Muther, R. Haganäs, K. 1987.** *Systematic Handling Analysis*. Kansas City : Management And Industrial Research Publication, 1987.
23. **Nyhuis, P. Wiendahl, H. 2009.** *Fundamentals of Production Logistics*. Hannover : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.
24. **Pedaru, T. 2014.** *AS CHEMI-PHARM tarneahela ja selle juhtimise arendamise võimalused*. Majandusteaduskond, Tartu Ülikool. Tartu : Tartu Ülikool, 2014.
25. **Ringsberg, H. 2016.** *Bar Coding for Product Traceability*. [Reference Module in Food Science] 2016. a.
26. **Robotnik koduleht 03.01.2020.** Robotnik koduleht. [Võrgumaterjal] Robotnik koduleht 03.01.2020. a. <https://www.robotnik.eu/>.
27. **Safety Standard For Guided Industrial Vehicles. 2019.** Safety Standard For Guided Industrial Vehicles. Washington : American National Standards Institute [ANSI], 2019. a. ANSI/ITSDF B56.5-2019.
28. **SICK koduleht 01.01.2020 .** SICK koduleht. [Võrgumaterjal] SICK koduleht 01.01.2020 . a. <https://www.sick.com/ag/en/>.
29. **Siemens Tecnomatix koduleht 06.12.2019.** Siemens Tecnomatix koduleht. [Võrgumaterjal] Siemens Tecnomatix koduleht 06.12.2019. a. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/tecnomatix/>.
30. **Stamatis, D.H. (2011).** *Understanding Overall Equipment Effectiveness, Reliability, and Maintainability*. Boca Raton : CRC Press, (2011).
31. **Zhang, L, Hu, Y ja Guan, Y. 2019.** *Research on hybrid-load AGV dispatching problem for mixed-model automobile assembly line*. [artikkel online- andmebaasis DOI-ga] Beijing : School of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Technology, 24. Juuni 2019. a.
32. **Tallinna Tehnikaülikool aastal. 2011.** *Uuenduslik tootmine*. Tallinn : TTÜ kirjastus, 2011.
33. **Tomkins, J. White, J. Bozer, Y. Tanchoco, J. 2010.** *Facilities Planning*. United States of America : John Wiley & Sons, INC, 2010.
34. **Tööstuslike mootorkärude ohutus. Juhita kärud ja nende süsteemid. 1999.** Tööstuslike mootorkärude ohutus. Juhita kärud ja nende süsteemid. Tallinn : Eesti Standardikeskus, 1999. a. EVS-EN 1525:1999.
35. **Visual Components koduleht 06.12.2019.** Visual Components koduleht. [Võrgumaterjal] Visual Components koduleht 06.12.2019. a. <https://www.visualcomponents.com/products/visual-components/premium/>.

LISAD

Lisa 1. AS CHEMI-PHARM tootmisstatistika 18.11-24.11.2019

Statistika eksport 2019-11-29 10-19-44												
Kuupäev	Tööjaam	Sad. %	Jõud. %	Kval. %	OEE %	TEEP %	Tulemus	Läbilaskvus	Väljas	Seadistusae	Seisuaeg	Töö
2019-11-18	Villim. 1	66%	83%	100%	55%	16%	4976pcs	18pcs/min	16:12:43	0:24:10	2:51:20	4:31:47
2019-11-19	Villim. 1	42%	73%	100%	30%	9%	2704pcs	16pcs/min	16:18:49	0:48:31	4:05:10	2:47:30
2019-11-20	Villim. 1	29%	100%	100%	29%	5%	1692pcs	22pcs/min	19:03:35	1:18:25	2:22:05	1:15:55
2019-11-21	Villim. 1	73%	94%	100%	68%	14%	4360pcs	21pcs/min	18:29:02	0:40:17	1:20:34	3:30:07
2019-11-22	Villim. 1	34%	71%	100%	24%	7%	2184pcs	16pcs/min	16:06:11	1:54:14	3:38:47	2:20:49
2019-11-23	Villim. 1	0%	0%	100%	0%	0%	0pcs	0pcs/min	24:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
2019-11-24	Villim. 1	0%	0%	100%	0%	0%	0pcs	0pcs/min	24:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
Statistika eksport 2019-11-29 10-19-44												
Kuupäev	Tööjaam	Sad. %	Jõud. %	Kval. %	OEE %	TEEP %	Tulemus	Läbilaskvus	Väljas	Seadistusae	Seisuaeg	Töö
2019-11-18	Villim. 2	61%	100%	100%	61%	9%	3656pcs	27pcs/min	19:47:53	0:56:31	1:00:15	2:15:27
2019-11-19	Villim. 2	85%	100%	100%	85%	13%	4600pcs	24pcs/min	19:40:22	0:46:09	0:20:55	3:13:18
2019-11-20	Villim. 2	88%	100%	100%	88%	5%	2304pcs	30pcs/min	22:18:46	0:14:24	0:09:14	1:17:43
2019-11-21	Villim. 2	68%	100%	100%	68%	5%	1744pcs	23pcs/min	21:54:44	0:20:42	0:29:35	1:15:07
2019-11-22	Villim. 2	93%	85%	100%	79%	14%	3624pcs	15pcs/min	19:08:58	0:39:53	0:14:33	3:57:06
2019-11-23	Villim. 2	0%	0%	100%	0%	0%	0pcs	0pcs/min	24:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
2019-11-24	Villim. 2	0%	0%	100%	0%	0%	0pcs	0pcs/min	24:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
Statistika eksport 2019-11-29 10-19-44												
Kuupäev	Tööjaam	Sad. %	Jõud. %	Kval. %	OEE %	TEEP %	Tulemus	Läbilaskvus	Väljas	Seadistusae	Seisuaeg	Töö
2019-11-18	LIIN 3	34%	100%	100%	34%	20%	6111pcs	22pcs/min	7:44:37	8:22:00	3:06:22	4:47:01
2019-11-19	LIIN 3	42%	100%	100%	42%	26%	8180pcs	22pcs/min	7:19:04	5:25:43	5:05:15	6:09:58
2019-11-20	LIIN 3	33%	100%	100%	33%	15%	4586pcs	21pcs/min	11:07:07	2:45:27	6:27:32	3:39:54
2019-11-21	LIIN 3	23%	100%	100%	23%	9%	1665pcs	13pcs/min	13:44:36	3:33:32	4:37:26	2:04:26
2019-11-22	LIIN 3	21%	100%	100%	21%	8%	1455pcs	13pcs/min	13:57:25	2:23:26	5:48:38	1:50:31
2019-11-23	LIIN 3	0%	0%	100%	0%	0%	0pcs	0pcs/min	24:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
2019-11-24	LIIN 3	0%	0%	100%	0%	0%	0pcs	0pcs/min	24:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
Statistika eksport 2019-11-29 10-19-44												
Kuupäev	Tööjaam	Sad. %	Jõud. %	Kval. %	OEE %	TEEP %	Tulemus	Läbilaskvus	Väljas	Seadistusae	Seisuaeg	Töö
2019-11-18	LIIN 4 (WIPES)	29%	68%	100%	20%	1%	224pcs	8pcs/min	22:12:53	0:25:17	0:54:27	0:27:27
2019-11-19	LIIN 4 (WIPES)	0%	0%	100%	0%	0%	0pcs	0pcs/min	23:59:51	0:00:09	0:00:00	0:00:00
2019-11-20	LIIN 4 (WIPES)	45%	68%	100%	31%	4%	766pcs	8pcs/min	20:02:00	1:02:09	1:21:28	1:34:25
2019-11-21	LIIN 4 (WIPES)	35%	68%	100%	23%	7%	1168pcs	8pcs/min	16:06:44	1:52:48	3:36:50	2:23:47
2019-11-22	LIIN 4 (WIPES)	22%	75%	100%	16%	2%	402pcs	9pcs/min	20:05:37	0:50:38	2:19:02	0:44:51
2019-11-23	LIIN 4 (WIPES)	0%	0%	100%	0%	0%	0pcs	0pcs/min	23:59:51	0:00:09	0:00:00	0:00:00
2019-11-24	LIIN 4 (WIPES)	0%	0%	100%	0%	0%	0pcs	0pcs/min	23:59:54	0:00:06	0:00:00	0:00:00

Lisa 2. KULINAARIA OÜ tootmisstatistika 02.12-08.12.2019

Tootmise statistika 2019-12-19 9-01-04													
Kuupäev	Töajaam	Sad. %	Jöud. %	Kval. %	OEE %	TEEP %	Tulemus	Tootlikus	Väljas	Seadistusaeg	Seisuaeg	Tõõtlemise aeg	Kogu aeg
2019/12/02	Leonardo	11%	58%	100%	7%	5%	1746 pcs	13.44 pcs/min	01:54:56	06:33:34	13:21:33	02:09:55	23:59:59
2019/12/03	Leonardo	42%	56%	100%	23%	12%	4022 pcs	12.8 pcs/min	09:44:22	09:01:23	00:00:00	05:14:13	23:59:59
2019/12/04	Leonardo	46%	61%	100%	28%	15%	5057 pcs	13.96 pcs/min	09:03:15	01:13:32	07:40:55	06:02:16	24:00:00
2019/12/05	Leonardo	28%	76%	100%	22%	14%	4719 pcs	17.59 pcs/min	05:58:21	02:15:18	11:17:07	04:29:11	23:59:59
2019/12/06	Leonardo	20%	75%	100%	15%	6%	1896 pcs	17.14 pcs/min	13:29:50	01:09:58	07:29:34	01:50:36	24:00:00
2019/12/07	Leonardo	25%	74%	100%	18,4%	13%	4199 pcs	16.92 pcs/min	05:06:07	02:35:13	12:10:29	04:08:09	24:00:00
2019/12/08	Leonardo	32%	72,5%	100%	23%	13%	4440 pcs	16.68 pcs/min	08:00:24	03:03:21	08:29:57	04:26:16	24:00:00
2019/12/09	Leonardo	32%	72,5%	100%	23%	13%	4440 pcs	16.68 pcs/min	08:00:24	03:03:21	08:29:57	04:26:16	24:00:00
Tootmise statistika 2019-12-19 9-01-04													
2019/12/03	Speedy 1	100%	34%	100%	34%	10,9%	5380 pcs	10.24 pcs/min	15:14:22	00:00:14	00:00:00	08:45:22	23:59:59
2019/12/04	Speedy 1	100%	40%	100%	40%	15%	6317 pcs	12.09 pcs/min	14:05:05	00:13:24	00:59:12	08:42:17	23:59:59
2019/12/05	Speedy 1	96%	42%	100%	40,2%	17%	7236 pcs	12.5 pcs/min	12:34:18	00:14:09	01:32:51	09:38:40	24:00:00
2019/12/06	Speedy 1	93%	42%	100%	39%	16%	6945 pcs	12.55 pcs/min	12:42:11	00:24:28	01:39:54	09:13:26	24:00:00
2019/12/07	Speedy 1	89%	41%	100%	37%	13%	5657 pcs	12.38 pcs/min	14:10:33	00:12:16	02:00:14	07:36:54	24:00:00
2019/12/08	Speedy 1	96%	35%	100%	34%	11%	4896 pcs	10.65 pcs/min	14:53:46	00:13:11	01:13:11	07:39:50	24:00:00
2019/12/09	Speedy 1	96%	35%	100%	34%	11%	4896 pcs	10.65 pcs/min	14:53:46	00:13:11	01:13:11	07:39:50	24:00:00
Tootmise statistika 2019-12-19 9-01-04													
2019/12/03	Speedy 2	72%	62%	100%	45%	15%	5477 pcs	16.19 pcs/min	15:04:59	01:39:00	01:37:47	05:38:12	23:59:59
2019/12/04	Speedy 2	80%	69%	100%	55%	18%	6864 pcs	17.94 pcs/min	14:54:20	01:27:46	01:15:16	06:22:36	24:00:00
2019/12/05	Speedy 2	69%	65%	100%	45%	15%	5636 pcs	16.85 pcs/min	14:44:59	01:54:19	01:46:11	05:34:29	23:59:59
2019/12/06	Speedy 2	59,9%	49%	100%	29,5%	12,8%	4792 pcs	12.81 pcs/min	12:06:04	02:23:43	03:15:59	06:14:13	23:59:59
2019/12/07	Speedy 2	74%	58%	100%	43%	13%	5022 pcs	14.98 pcs/min	15:25:12	01:43:03	01:16:33	05:35:10	23:59:59
2019/12/08	Speedy 2	85%	68%	100%	58%	18%	6828 pcs	17.67 pcs/min	15:21:53	01:14:29	00:57:12	06:26:23	23:59:59
2019/12/09	Speedy 2	85%	68%	100%	58%	18%	6828 pcs	17.67 pcs/min	15:21:53	01:14:29	00:57:12	06:26:23	23:59:59

Lisa 3. SHA kodeerimine tabelites

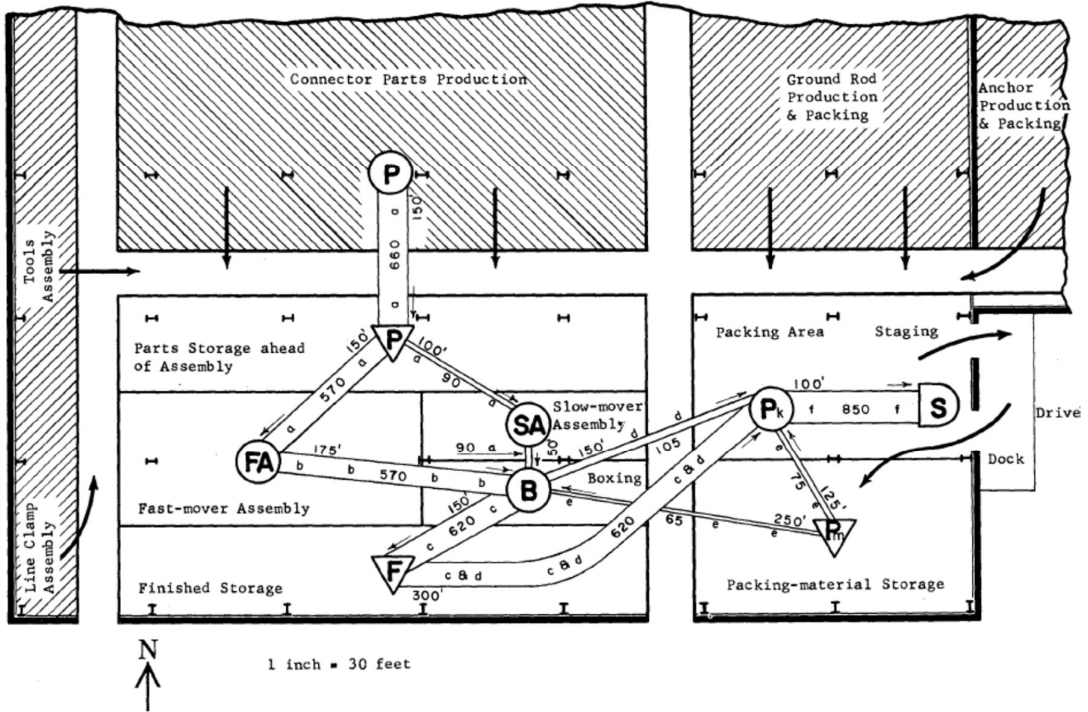
Process Chart Symbols & Action*	Symbols Extended to Identify Equipment & Space	Color Ident.	Black & White**	Formulas and Explanations
* ○ Operation	○ Forming or Treating Equipment & Space ○ Assembly, Sub-Assembly, Dis-Assembly	Green** Red**		Intensity (I) = nP/t Designated by width of flow line
* ⇨ Transportation	⇨ Transport-related Equipment & Space	Orange Yellow**		Distance (D) Designated by length of flow line
◇ Handling	◇ Handling Areas -- Pick-up & Set-Down	Orange Yellow**		Transport Work (TW) TW = I x D = nP/t X D Designated by area of flow line
* ▽ Storage	▽ Storage Equipment and Space	Orange Yellow**		Example:
* ○ Delay	○ Set-down or Hold Areas	Orange Yellow**		
* □ Inspection	□ Inspect, Test, Check Equipment & Space	Blue**		M-H Systems: D-Direct C-Central K-Channel (Kanal)
* A.N.S.I. Standard ** MHMS (IMMS) Standard (Adopted as basic to SHA procedure)	○ Service & Support Equipment & Space ⇨ Office or Planning Areas, or Building Features	Blue** Brown** (Gray)		

Vowel Letter	No. Value	No. of Lines	Intensity Rating of Material Moves	Color Code	Evaluating Description	Letter/Value
A	4		Abnormally High Intensity of Moves	Red**	Almost Perfect Results (Excellent)	A/4
E	3		Especially High Intensity of Moves	Orange Yellow**	Especially Good Results (Very Good)	E/3
I	2		Important Intensity	Green**	Important Results (Good)	I/2
O	1		Ordinary Intensity	Blue**	Ordinary Results (Fair)	O/1
U	0		Unimportant Moves of Negligible Intensity	Uncolored**	Unimportant Results (Poor)	U/0
					Not Acceptable Results (Not Satisfactory)	X/?

Dash (dotted) line indicates half a line, or half-way between two ratings – recorded by minus sign behind vowel letter.

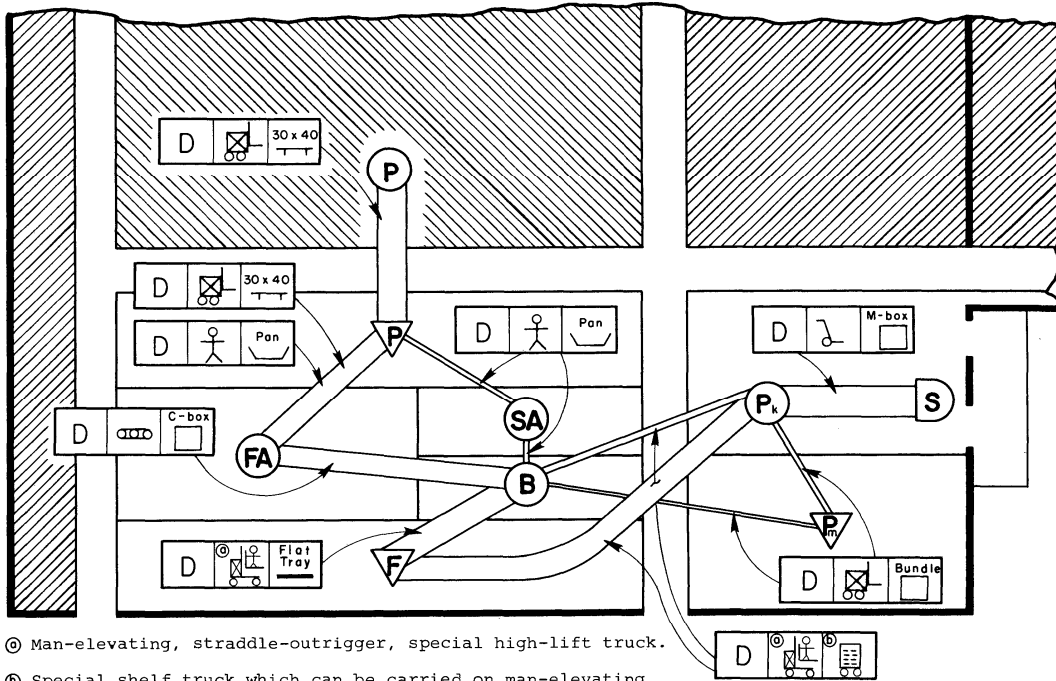
Lisa 4. SHA paigutusega seotud vooskeemi näidis

FLOW DIAGRAM OF ASSEMBLE, STORE, PACK, AND SHIP FOR ELECTRICAL CONNECTORS PLANT



Lisa 5. SHA paigutusega seotud vookeem koos valitud käsitlemise meetoditega

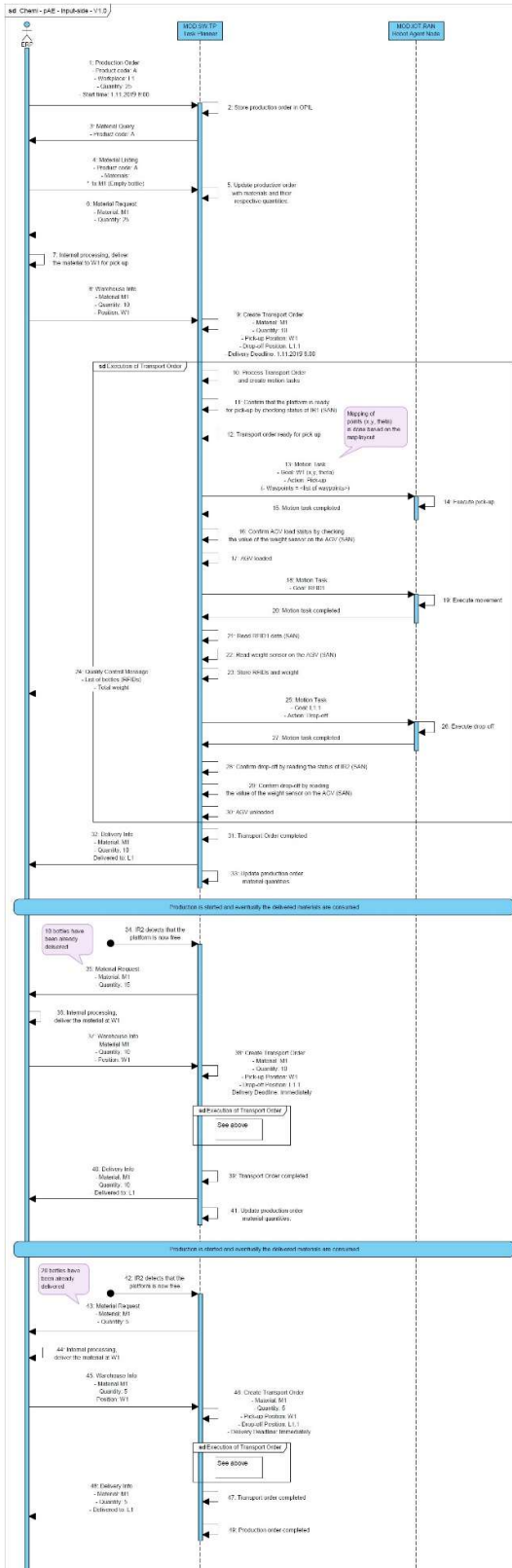
FLOW DIAGRAM WITH HANDLING METHODS SHOWN THEREON



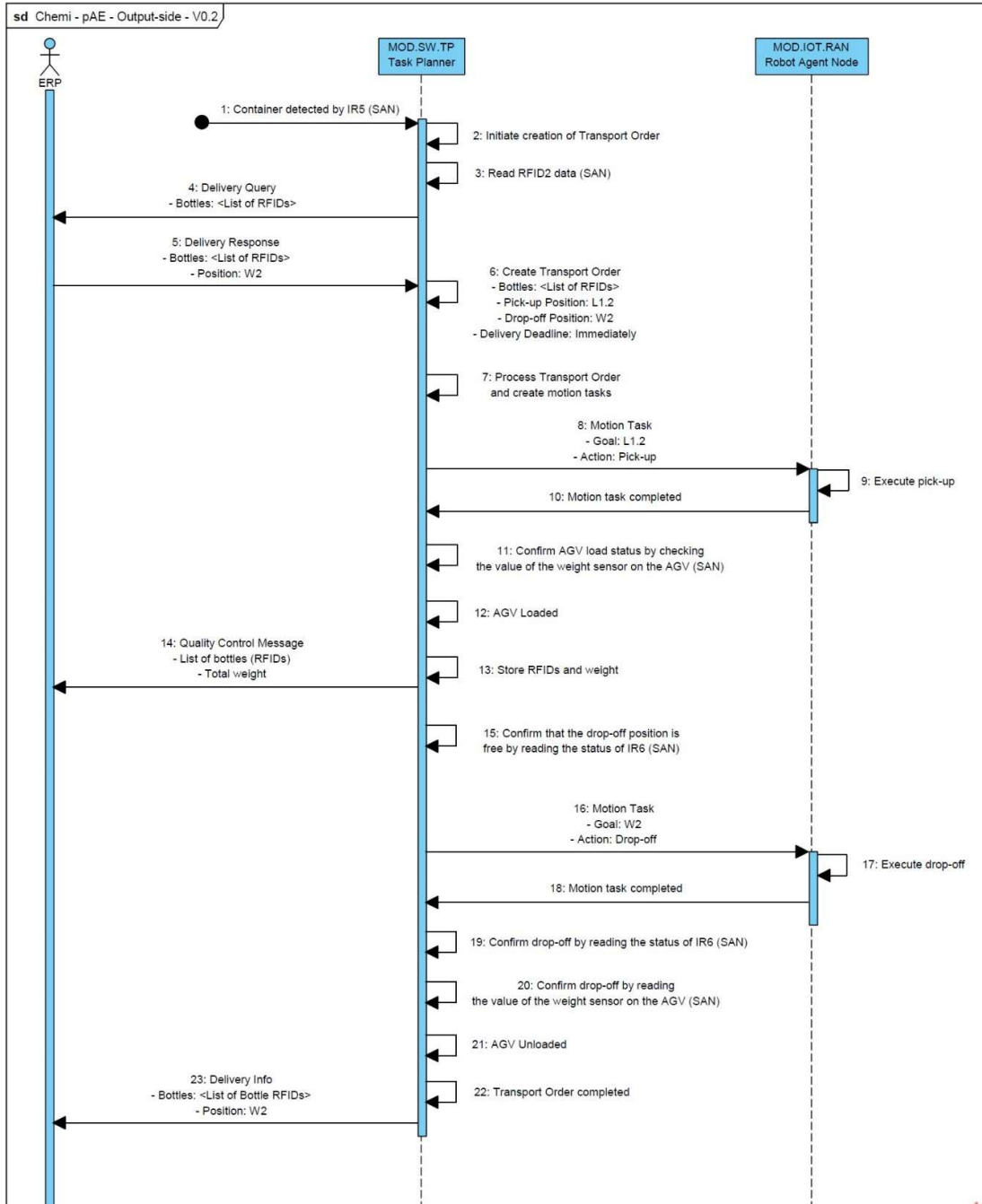
Lisa 6. Valik AGV alusplatvorme ja kahveltõstukeid

Tüüp	Tootja	Mõõdud	Pöörderaadius	Tõstevõime	Tõstekõrgus	Kiirus	Tööaeg	HIND	LINK	
Kahveltõstukid	laius (mm)	piikkus (mm)	kõrgus (mm)	kg	mm	m/min	(EUR)			
FX10	MAXAGV				1000	3200			http://maxagv.com/project-item/	
A4	AGVE Group (Solutions)	1000			1000	4000			http://www.agvegroup.com/	
FLV	Dematic NV								https://www.egemin-automation.com/	
CompactMovers	OCEANEERING								https://www.oceaneering.com/	
Laser guidance forklift AGV	IKV Robot	802	2200	710	1705-2075	35 m/min	24 h		https://www.ikvrobot.com/	
CP Mini	System Logistics	1200			1000	5000			http://www.systemlogistics.com/	
Forkover	John Bean Technologies Ltd	1080	2030	1950		715			http://www.jbtc.com/	
ATX16	ROCLA OY	1000			1250	1700	2 m/s		https://www.rocla-agv.com/en	
GL 10.1	BA Systemes	535	1400	120		1 m/s	5-8 h		https://www.basystemes.com/	
Lowpad Fork	Eurotec BV				1500				https://eurotec.eu/equipment/agv-systems	
	EK AUTOMATION								http://ek-automation.com/	
Compact AGV	Dematic NV								http://www.dematic.com/	
2Move	MOTUM	900	2500		1300	130	2m/s		http://www.motum.be/2move/	
High-lift fork trucks	MLR System GmbH								http://www.mlr.de/	
Standard vehicles	Axter Automation				3500	2400			http://www.axter-agv.com/	
Linde L16 AGV	Robotic Automation P/L	940	2230		1600	2844	1,5 m/s		http://www.roboticautomation.com.au/	
Bee _ spurmeise					1000	1000	1m/s		http://www.beevatec.de/	
ERC 215a	Jungheinrich Aktiengesellschaft swisslog				1500	4000			http://www.jungheinrich.ie/	
MTS-M0J15	SEM-EURODRIVE Canada	982	14204	337					https://www.logistics-systems.ie/	
					1200				https://sewcan.ca/	
Alusplatvormid										
CX15	MAXAGV				1250	650 - 750			http://maxagv.com/	
A10	AGVE Group	1200			1500	8000			https://www.agvegroup.com/	
OTTO	Clearpath Robotics, Inc	1100	1810	400		2,0 m/s	8 h		https://www.ottomotors.com/	
Lowpad large	Eurotec	800	1000	120	1200	40	1,2m/s	5-8 h	https://eurotec.eu/equipment/agv-systems	
MIR100	Mobile Industrial Robots A/S	580	890	352	520	100	1,5m/s	10 h	25000 https://www.mobile-industrial-robots.com/	
MIR200	Mobile Industrial Robots A/S	580	890	352	520	200	1,1m/s	10 h	31000 https://www.mobile-industrial-robots.com/	
MIR500	Mobile Industrial Robots A/S	920	1350	407	2000	500	2,0m/s	10 h	52500 https://www.mobile-industrial-robots.com/	
MIRhook	Mobile Industrial Robots A/S	580	1180-1275	550-900	520	100/300	1,5 m/s	8-10 h	https://www.mobile-industrial-robots.com/	
MIR1000	Mobile Industrial Robots A/S	920	1350	407	2000	1000	1,2m/s	8 h	67100 https://www.mobile-industrial-robots.com/	
RB-2 BASE	Robotnik	623	980	390	500	200	50	1,7m/s	10 h	27000 https://www.robotnik.eu/
GOPAL 400	Robotize	860	1400	315	850	425	2,4m/s	10-14 h	http://robotize.com/	
GOPAL E24	Robotize	860	1400	315	850	1000	2m/s	6-10 h	http://robotize.com/	

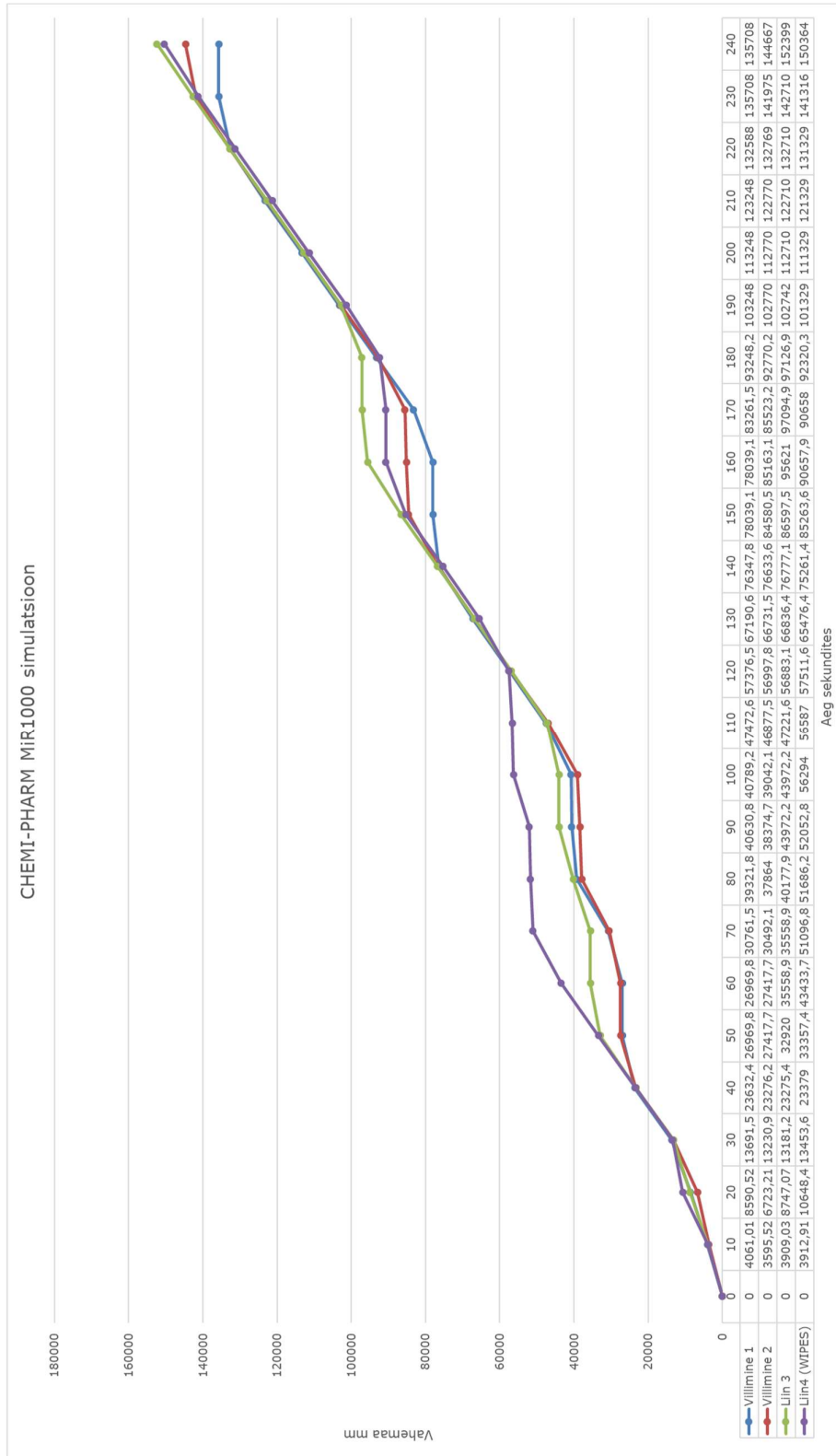
Lisa 7. CHEMI-PHARM OPIL loogikadiagramm liinisend



Lisa 8. CHEMI-PHARM OPIL loogikadiagramm liiniväljund



Lisa 9. CHEMI-PHARM MiR1000 simulatsiooni tulemused



Lisa 10. KULINAARIA Robotnik RB-2 simulatsiooni tulemused



Lisa 11. KULINAARIA tootmistellimused ajavahemikul 03.12- 04.12.2019

Speedy 1 tootmistellimused 2019-12-04 - 04.12.2019				Speedy 2 tootmistellimused 2019-12-04 - 04.12.2019				Leonardo tootmistellimused 2019-12-03 - 03.12.2019			
Nr.	Kood	Artikkel	Kõrgus (R)	Nr.	Kood	Artikkel	Kõrgus (R)	Nr.	Kood	Artikkel	Kõrgus (R)
1	1187	252,00 lk	13,00	1	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00	1	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
2	1178	154,00 lk	4,00	2	1650	Kartulisingsaal 200 g	186,00 lk	2	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
3	1612	140,00 lk	4,00	3	1649	Krahmsalaine nissaal 200 g	72,00 lk	3	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
4	1669	168,00 lk	5,00	4	1424	Pasta suitsukausaalaat 200 g	186,00 lk	4	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
5	2378	49,00 lk	2,00	5	1427	Pasta suitsukausaalaat 700 g	297,00 lk	5	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
6	1089	35,00 lk	3,00	6	1659	Makaroningsaal 700 g	192,00 lk	6	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
7	1188	56,00 lk	5,00	7	1658	Kartuli-peetonsaal 200 g	165,00 lk	7	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
8	1668	56,00 lk	5,00	8	2223	Kartuli-peetonsaal 700 g	465,00 lk	8	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
9	1883	26,00 lk	1,00	9	2223	Kartuli-peetonsaal 700 g	465,00 lk	9	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
10	1605	196,00 lk	5,00	10	2001	Kodune kartulisalat maasuitsusingsaal 700 g	186,00 lk	10	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
11	1672	182,00 lk	16,00	11	2000	Kodune kartulisalat maasuitsusingsaal 200 g	228,00 lk	11	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
12	2622	186,00 lk	3,00	12	1689	Kartuli-harulaat 200 g	72,00 lk	12	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
13	1612	182,00 lk	16,00	13	1688	Kodune kartulisalat maasuitsusingsaal 700 g	465,00 lk	13	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
14	1612	182,00 lk	16,00	14	1618	Kodune kartulisalat maasuitsusingsaal 200 g	228,00 lk	14	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
15	1611	252,00 lk	7,00	15	1683	Sumplavesaal 700 g	866,00 lk	15	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
16	1611	29,00 lk	3,00	16	1584	Sumplavesaal 200 g	311,00 lk	16	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
17	1609	55,00 lk	3,00	17	1582	Oe-singsaal 200 g	324,00 lk	17	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
18	2031	28,00 lk	3,00	18	2220	Kana-karnisaal 200 g	214,00 lk	18	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
19	1612	182,00 lk	16,00	19	1682	Kodune kartulisalat maasuitsusingsaal 700 g	465,00 lk	19	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
20	1612	182,00 lk	16,00	20	1685	Peagi-linsaal 700 g	150,00 lk	20	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
21	2388	63,00 lk	2,00	21	1577	Peedi-küüslaugu-majoneessaal 200 g	180,00 lk	21	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
22	2388	56,00 lk	2,00	22	1578	Peedi-küüslaugu-majoneessaal 700 g	752,00 lk	22	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
23	2374	70,00 lk	2,00	23	1591	Kodune rosolje 700 g	647,00 lk	23	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
24	1620	77,00 lk	3,00	24	2351	Kana-karnisaal 200 g	301,00 lk	24	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
25	1618	223,00 lk	7,00	25	1624	Kartuli-singsaal 200g	311,00 lk	25	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
26	1618	56,00 lk	3,00	26	1625	Kodune kartulisalat maasuitsusingsaal 200 g	228,00 lk	26	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
27	1651	56,00 lk	3,00	27	1619	Makaron-singsaal 200g	641,00 lk	27	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
28	2407	103,00 lk	9,00	28	2353	Vingret 200 g	141,00 lk	28	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
29	2407	149,00 lk	3,00	29	2003	Kartuli-singsaal 2,1 kg	72,00 vann	29	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
30	1116	149,00 lk	10,00	30	2020	Kodune kartulisalat 2,1 kg	400,00 vann	30	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
31	112	120,00 lk	10,00	31	2006	Kodune rosolje 2,1 kg	370,00 vann	31	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
32	1617	72,00 lk	2,00	32	1612	Kodune kartulisalat maasuitsusingsaal 200 g	228,00 lk	32	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
33	1617	72,00 lk	2,00	33	1845	Koduni-singsaal 1,22 kg	360,00 vann	33	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
34	1617	242,00 lk	9,00	34	2008	Makaron-singsaal 2,1 kg	400,00 vann	34	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
35	1173	222,00 lk	9,00	35	2010	Peedi-küüslaugu-majoneessaal 2,1 kg	810,00 vann	35	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
36	1681	400,00 lk	15,00	36	2011	Sumplavesaal 2,1 kg	500,00 vann	36	1086	Ahukatalu 1,7kg	2,00
37	1674	341,00 lk	13,00								
38	1616	522,00 lk	20,00								
39	1616	180,00 lk	7,00								
40	2302	83,00 lk	7,00								
41	2303	216,00 lk	18,00								
42	1679	241,00 lk	21,00								
43	1671	241,00 lk	21,00								
KOKKUU			6 433,00 lk	KOKKUU			7 656,00 lk	KOKKUU			3 946,00 lk
KOKKUU			314,00 lk	KOKKUU			565,00 lk	KOKKUU			754,00 lk
			16				29				

Korp	Mõõdud mm	Ühte kasti maht (tš)
Eurotrav mädal (valmistoit - Speedy 1)	1857*137*37	21
Eurotrav kõrpe (valmistoit - Speedy 1)	1857*137*50	14
Plastkarp SC-355 350ml pakkeihin (salat, Speedy 1)	128*108*36	36
Plastkarp SC-855 850ml pakkeihin (salat, Speedy 1)	128*108*95	12
Doneeritava salatkarp suur (700g)	175*112*62	9
Doneeritava salatkarp väike (200g)	179*112*37	27
Kokteilalatkarp (Speedy 1) (500g)	179*165*56,5	12
Vann (foolium)	322*262*55	4

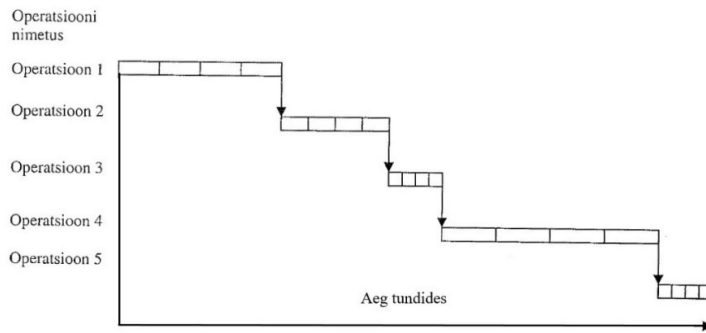
Lisa 12. CHEMI-PHARM tootmistellimused 18.11-24.11.2019

CHEMI-PHARM tootmisandmed liini väljundis 18.11-24.11.2019								
Alus lattu (aeg)	Liini nimetus	Aluse number	Kogus	Kaste	VILLIMINE 1	VILLIMINE 2	LIIN 3	LIIN 4 (WIPES)
18.11.2019 07:08	Villimine 1	Valmistoodangu alus 2989	720	60				
18.11.2019 07:25	LIIN 3	Valmistoodangu alus 2990	648	54				
18.11.2019 07:28	Villimine 1	Valmistoodangu alus 2991	210	18				
18.11.2019 08:43	LIIN 3	Valmistoodangu alus 2992	1008	84				
18.11.2019 09:57	Villimine 2	Valmistoodangu alus 2993	2744	229				
18.11.2019 10:36	LIIN 3	Valmistoodangu alus 2994	1008	84				
18.11.2019 10:40	Villimine 1	Valmistoodangu alus 2995	720	60				
18.11.2019 11:28	Villimine 1	Valmistoodangu alus 2996	720	60				
18.11.2019 11:37	LIIN 3	Valmistoodangu alus 2997	1008	84				
18.11.2019 12:07	LIIN 3	Valmistoodangu alus 2998	360	30				
18.11.2019 12:22	Villimine 1	Valmistoodangu alus 2999	720	60				
18.11.2019 12:55	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3000	1008	84				
18.11.2019 13:43	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3001	720	60				
18.11.2019 14:01	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3002	1008	84				
18.11.2019 14:19	Villimine 2	Valmistoodangu alus 3003	408	17				
18.11.2019 14:21	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3004	128	11				
18.11.2019 14:28	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3005	684	57				
18.11.2019 16:50	LIIN 4 (WIPES)	Valmistoodangu alus 3006	262	22	KOKKU (tk): 4494	3152	6176	262
					KOKKU (alus): 7	2	8	1
19.11.2019 06:05	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3007	36	3				
19.11.2019 06:41	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3008	549	46				
19.11.2019 07:08	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3009	880	73				
19.11.2019 08:33	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3010	509	42				
19.11.2019 08:55	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3011	1008	84				
19.11.2019 10:42	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3012	1008	84				
19.11.2019 11:03	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3013	402	34				
19.11.2019 11:10	Villimine 2	Valmistoodangu alus 3014	3446	144				
19.11.2019 11:44	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3015	1008	84				
19.11.2019 12:36	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3016	540	45				
19.11.2019 12:39	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3017	1008	84				
19.11.2019 13:26	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3018	432	36				
19.11.2019 13:55	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3019	1008	84				
19.11.2019 14:16	Villimine 2	Valmistoodangu alus 3020	1030	86				
19.11.2019 14:24	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3021	60	5				
19.11.2019 15:29	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3022	1008	84				
19.11.2019 16:36	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3023	1008	84	KOKKU (tk): 2528	4476	8164	0
19.11.2019 16:49	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3024	228	19	KOKKU (alus): 7	2	9	0
20.11.2019 06:45	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3025	480	40				
20.11.2019 06:54	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3026	780	65				
20.11.2019 07:22	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3027	108	9				
20.11.2019 07:33	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3028	648	54				
20.11.2019 07:50	Villimine 2	Valmistoodangu alus 3029	1024	43				
20.11.2019 07:56	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3030	1008	84				
20.11.2019 08:15	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3031	432	36				
20.11.2019 09:09	LIIN 4 (WIPES)	Valmistoodangu alus 3032	98	9				
20.11.2019 09:13	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3033	805	67				
20.11.2019 10:59	LIIN 4 (WIPES)	Valmistoodangu alus 3034	360	30				
20.11.2019 12:40	LIIN 4 (WIPES)	Valmistoodangu alus 3035	298	25	KOKKU (tk): 1668	1900	2593	756
20.11.2019 14:18	Villimine 2	Valmistoodangu alus 3036	876	37	KOKKU (alus): 4	2	3	3
21.11.2019 06:17	LIIN 4 (WIPES)	Valmistoodangu alus 3037	62	6				
21.11.2019 07:39	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3038	144	48				
21.11.2019 07:54	LIIN 4 (WIPES)	Valmistoodangu alus 3039	360	30				
21.11.2019 08:26	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3040	144	48				
21.11.2019 08:51	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3041	144	48				
21.11.2019 09:13	Villimine 2	Valmistoodangu alus 3042	1728	72				
21.11.2019 09:27	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3043	144	48				
21.11.2019 10:33	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3044	648	54				
21.11.2019 10:47	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3045	144	48				
21.11.2019 11:09	LIIN 4 (WIPES)	Valmistoodangu alus 3046	360	30				
21.11.2019 11:13	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3047	648	54				
21.11.2019 11:17	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3048	144	48				
21.11.2019 11:28	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3049	216	18				
21.11.2019 11:57	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3050	144	48				
21.11.2019 12:12	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3051	648	54				
21.11.2019 12:19	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3052	144	48				
21.11.2019 12:49	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3053	144	48				
21.11.2019 12:52	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3054	648	54				
21.11.2019 13:35	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3055	144	48				
21.11.2019 13:39	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3056	648	54				
21.11.2019 13:52	LIIN 4 (WIPES)	Valmistoodangu alus 3057	360	30				
21.11.2019 14:05	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3058	180	60				
21.11.2019 14:19	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3059	648	54	KOKKU (tk): 4350	1728	1623	1142
21.11.2019 15:28	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3060	246	21	KOKKU (alus): 8	1	11	4
22.11.2019 06:52	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3061	180	60				
22.11.2019 06:56	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3062	180	60				
22.11.2019 07:36	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3063	199	17				
22.11.2019 08:43	Villimine 2	Valmistoodangu alus 3064	720	60				
22.11.2019 08:43	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3065	180	60				
22.11.2019 09:23	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3066	180	60				
22.11.2019 09:56	Villimine 2	Valmistoodangu alus 3067	720	60				
22.11.2019 10:36	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3068	180	60				
22.11.2019 11:11	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3069	180	60				
22.11.2019 11:19	LIIN 4 (WIPES)	Valmistoodangu alus 3070	216	18				
22.11.2019 11:40	Villimine 2	Valmistoodangu alus 3071	720	60				
22.11.2019 12:01	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3072	182	61				
22.11.2019 12:49	Villimine 2	Valmistoodangu alus 3073	720	60				
22.11.2019 12:55	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3074	540	45				
22.11.2019 13:45	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3075	540	45				
22.11.2019 14:12	Villimine 2	Valmistoodangu alus 3076	720	60				
22.11.2019 14:56	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3077	342	29				
22.11.2019 15:40	LIIN 3	Valmistoodangu alus 3078	180	60				
22.11.2019 15:55	LIIN 4 (WIPES)	Valmistoodangu alus 3079	144	12				
22.11.2019 15:55	LIIN 4 (WIPES)	Valmistoodangu alus 3080	36	3				
22.11.2019 16:31	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3081	96	8	KOKKU (tk): 1850	3601	1442	396
22.11.2019 16:45	Villimine 1	Valmistoodangu alus 3082	133	11	KOKKU (alus): 6	5	8	3

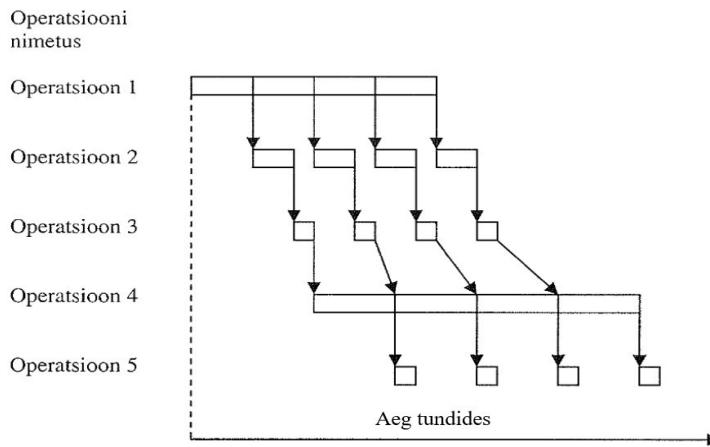
Pudelite arv kastis	
Taara	tk
100 ml	24
200 ml	24
250 ml	12
300 ml	12
500 ml	12
1 l	12
5l	3
WIPES	
WIPES 24	24
WIPES 100	12
WIPES 150	12
WIPES 600	4

Lisa 13. Tootmisprotsesside kulgemise viisid

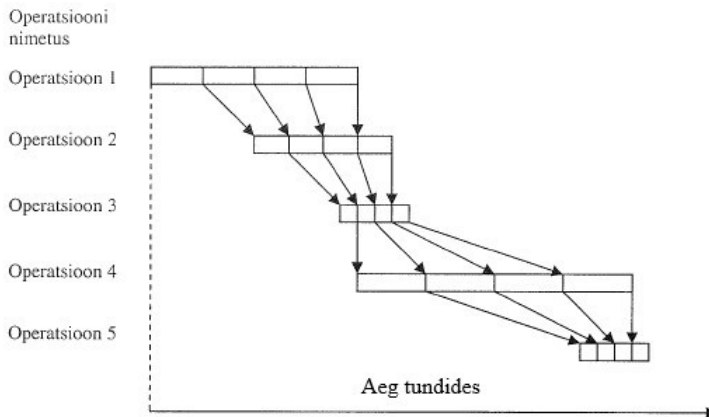
Järjestikuse kulgemisviisiga tootmistsükkel:



Paralleelse kulgemisviisiga tootmistsükkel:



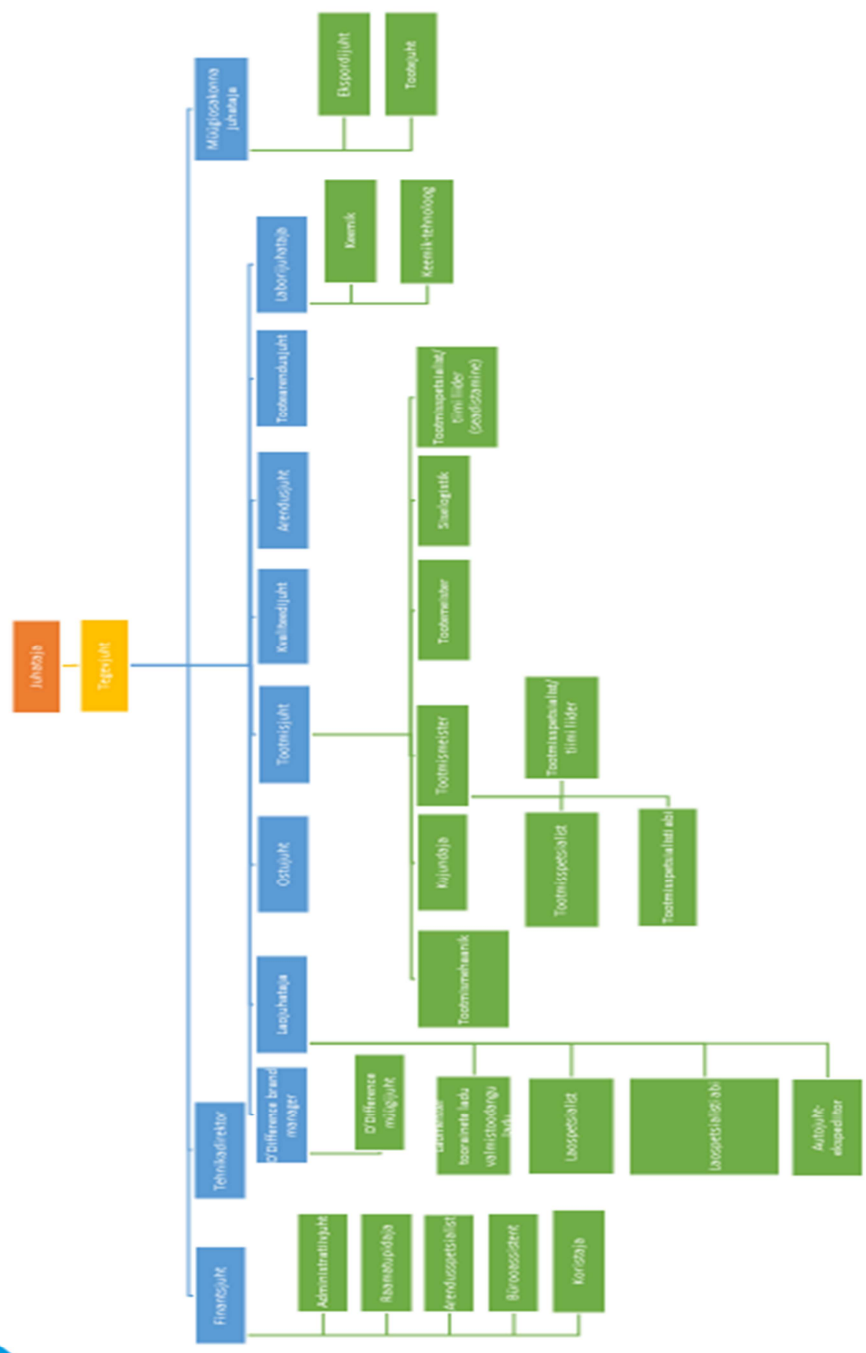
Järjestik-paralleelse kulgemisviisiga tootmistsükkel:



Lisa 14. CHEMI-PHARM ettevõtte struktuur

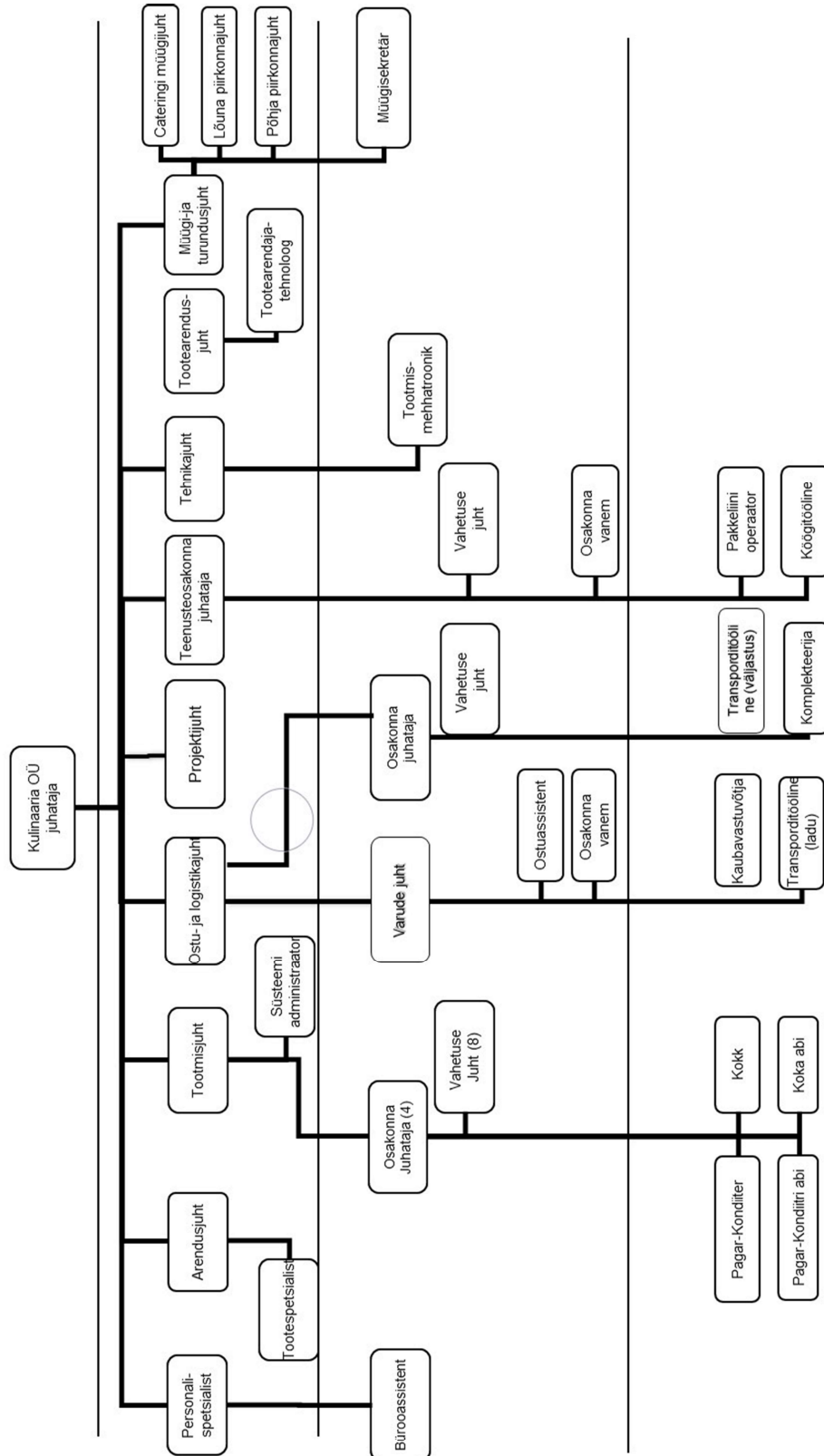
vers.4, 15.11.2019

UK lisa nr.1



Lisa 15. Kulinaaria OÜ ettevõtte struktuur

Kulinaaria OÜ struktuur



Lisa 16. OPIL struktuur

